

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Vliv aktivátoru na základní vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů

The influence of activator on the basic properties of alkali-activated
systems

Student:

Josef Koňářík

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Jana Boháčová

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student:

Josef Koňářík

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

Vliv aktivátoru na základní vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů
The influence of activator on the basic properties of alkali-activated
systems

Zásady pro vypracování:

Předmětem bakalářské práce je ověření vlivu použitého typu aktivátoru na fyzikálně-mechanické vlastnosti připravených alkalicky aktivovaných systémů.

V rámci práce bude testován vliv konkrétního typu aktivátoru (sodné, draselné a lithné vodní sklo, metakřemičitan sodný - bezvodý, atd.), a jeho dávkování na konečné vlastnosti připravených kompozitů. Jako alkalicky aktivované pojivo bude v této práci použita vysokopecní jemně mletá granulovaná struska.

Seznam doporučené odborné literatury:

BRANDŠTETR, J., KRIVENKO, P. V.: *Alkalické cementy a betony*. SILIKA. 2000, s. 26–28. ISSN 1213-3930.

BRANDŠTETR, J., MELUZÍN, O., KOHUT, J., ZAVŘEL., Š.: *Příprava a některé vlastnosti struskoalkalických betonů*. Stavivo. 1986, s. 182-188. ISSN 0039-0801.

ŠKVÁRA, F.: *Alkalicky aktivované materiály - geopolymery*. VŠCHT v Praze, Ústav skla a keramiky. Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-004-1.


DAVIDOVITS, Joseph.: *Geopolymer: chemistry*. 2nd ed. Saint-Quentin: Institute Géopolymre, 2008, 587 s. ISBN 29-514-8201-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

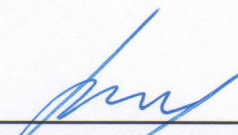
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Boháčová**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 05.05.2014


Ing. Libor Židek
vedoucí katedry




prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Anotace

KOŇAŘÍK, J., *Vliv aktivátoru na základní vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb, 2014, 70 s., Vedoucí práce Ing. Jana Boháčová

Alkalicky aktivované systémy jsou anorganické hmoty vzniklé alkalickou aktivací a následnou polykondenzací. Vyznačují se zejména energetickým a ekologickým potenciálem. Cílem této práce je zkoumání vlivu na vybrané konečné vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů na bázi vysokopecní granulované strusky při použití různých aktivátorů.

V experimentech byly u připravených receptur zjišťovány konzistence, počátky a konce doby tuhnutí nastávaly mezi 40-120 minutami, pevnosti v tahu a tlaku pohybující se mezi 40- 100 MPa, mrazuvzdornost a odolnost povrchu proti působení chemických rozmrazovacích látek byla potvrzena.

V závěrečné části práce byly připraveny ukázky možného uplatnění připravených kompozitů ve stavební praxi, přičemž se tato část výzkumu zaměřila na vzhled povrchu a pórovitost, zpracovatelnost směsi a podmínky odformování, možnosti přípravy ve výrobním procesu. Nejvhodnější pro tuto aplikaci je receptura s DESIL AL.

Klíčová slova: Alkalicky aktivovaný, Jemně mletá granulovaná vysokopecní struska, Aktivátor, Praktická aplikace

Annotation

KOŇAŘÍK, J., *The influence of activator on the basic properties of alkali-activated systems : Bachelor's thesis*. Ostrava : VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Civil engineering, Department of Building materials and diagnostics of Structures , 2014, 70 p., Thesis head Ing. Jana Boháčová

Alkali-activated systems are inorganic materials formed by the alkaline activation and by the subsequent polycondensation. These materials are characterized by the energy and environmental potential. The objective of this work is to investigate the influence of the selected final properties of alkali-activated systems based on granulated blast furnace slag when using different activators.

In the experiments the prepared recipes were tested for consistency, the beginnings and ends of the time of solidification occurred between 40-120 minutes , strength and tensile strength in the range 40- 100MPa, frost resistance and surface resistance to chemical de-icing substances was confirmed.

In the final part of the work samples were prepared for the possible application of composites in building practice, while this part of the research was focused on the appearance of the surface and porosity, workability and conditions for removal from the mold and the possibility of industrial production. Most suitable for this application is recipe with Desil AL.

Keywords: Alkali-activated, Finely ground granulated blast furnace slag, Activator, Practical application

Obsah

Seznam značení.....	3
1. Úvod.....	4
2. Alkalicky aktivované systémy.....	5
2.1 Procesy a produkty alkalické aktivace.....	5
2.2 Historie.....	10
2.3 Novodobý výzkum.....	14
3. Použité suroviny.....	15
3.1 Záměsová voda.....	15
3.2 Křemičitý písek.....	15
3.3 Jemně mletá granulovaná vysokopecní struska.....	16
3.4 Aktivátory.....	18
3.4.1 Draselné vodní sklo.....	19
3.4.2 Sodné vodní sklo.....	20
3.4.3 Sodnolithné vodní sklo.....	20
3.4.4 Lithné vodní sklo.....	21
3.4.5 Metakřemičitan sodný.....	22
3.4.6 Desil AL.....	22
3.4.7 Koloidní oxidy křemíku.....	23
4. Cíle práce a rozdělení na fáze.....	24
4.1 Cíle práce.....	24
4.2 Fáze I - zhodnocení vhodnosti aktivátorů, výběr směsí.....	25
4.3 Fáze II - Fyzikálně-mechanické vlastnosti vybraných směsí.....	25
4.4 Fáze III – Možnosti uplatnění ve stavební praxi.....	25
5. Metodika pracovních postupů.....	26
5.1 Metodika způsobu výroby.....	26
5.1.1 Fáze I a II.....	26
5.1.2 Fáze III.....	29
5.2 Metodika výběru složení směsí.....	30
5.3 Metodika zkoušení.....	31
5.3.1 Pevnostní charakteristiky.....	32

5.3.2 Mrazuvzdornost.....	34
5.3.3 Odolnost povrchů proti působení chemických rozmrazovacích látek.....	36
5.3.4 Počátek a konec doby tuhnutí.....	37
5.3.5 Konzistence.....	39
5.3.6 Ne normové postupy pro získání orientačních informací.....	40
6. Zkušební část.....	41
6.1 Fáze I- vliv aktivátorů na počáteční vlastnosti.....	41
6.1.1 Určení počátečních směsí.....	41
6.1.2 Vlastnosti čerstvých směsí a jejich vyhodnocení.....	42
6.1.3 Konečné vlastnosti těles a jejich vyhodnocení.....	44
6.1.4 Zhodnocení vlastností směsí z fáze I.....	48
6.2. Fáze II- Konečné vlastnosti kompozitů.....	50
6.2.1 Pevnosti v tlaku a tahu za ohybu.....	50
6.2.2 Počátek a konec tuhnutí.....	54
6.2.3 Mrazuvzdornost.....	55
6.2.4 Odolnost povrchu proti působení chemických rozmrazovacích látek.....	57
6.3. Fáze III- Možnosti využití v praktické aplikaci.....	60
6.3.1 Možnosti odformování.....	60
6.3.2 Hodnocení zpracovatelnosti v praktické aplikaci.....	61
6.3.3 Vizuální hodnocení povrchů a vhodnosti pro vybranou aplikaci.....	62
7. Závěr.....	68
8. Seznam použitých pramenů.....	71
9. Seznam příloh.....	72
Seznam obrázků.....	73
Seznam tabulek.....	75

Seznam značení

A	Velikost zkoušeného povrchu pro CHRL v mm^2
Desil	Aktivátor DESIL AL1
DVS*	Aktivátor na bázi draselného vodního skla
F_c	Zatížení při porušení pro zkoušku v tlaku v kN
F_f	Lomové zatížení pro zkoušku tahu za ohybu v kN
CHRL	Zkouška odolnosti povrchů proti působení chemických rozmrazovacích látek
LiVS*	Aktivátor na bázi lithného vodního skla
MKS	Aktivátor na bázi metakřemičitanu sodného
NaVS*	Aktivátor na bázi sodného vodního skla
R_c	Pevnost v tlaku v MPa
R_f	Pevnost v tahu za ohybu v MPa
a.c	Plocha na kterou působí zatížení při zkoušce pevnosti v tlaku v mm^2
b	Délka boční strany tělesa pro zkoušku v tahu za ohybu v mm
k_{m100}	Součinitel mrazuvzdornosti po 100 cyklech
l	Vzdálenost podpor u zkoušky v tahu za ohybu v mm
m	Hmotnost v g
μ_{m100}	Aritmetický průměr pevností zmrazovaných těles v MPa
μ_p	Aritmetický průměr pevností referenčních těles v MPa
ρ_a	Hmotnostní odpad u zkoušky CHRL v g/mm^2

*po takto označených zkratkách zpravidla následuje číselné označení vyjadřující silikátový modul, což je poměr oxidu křemičitého k příslušnému alkalickému oxidu

1. Úvod

V oblasti stavebnictví u nás jsou stále v největší míře zastoupena pojiva na bázi cementů, a to jak v jemnozrnných, tak i hrubozrnných aplikacích. Výroba cementu je však velice energeticky náročná a také negativně ovlivňuje životní prostředí, a to zejména těžbou přírodních zdrojů a tvorbou emisí CO₂. V dnešní české i evropské legislativě je na tyto faktory kladen stále větší důraz, zejména pak na ochranu životního prostředí, udržitelný rozvoj a recyklovatelnost materiálů. Tento problém by se mohl z části vyřešit použitím alkalicky aktivovaných systémů, které mohou v některých odvětvích stavebnictví alespoň z části nahradit cementová pojiva.

Alkalicky aktivované systémy využívají jako pojiva především velkoobjemové druhotné suroviny z různých odvětví průmyslu. Zejména z hutního průmyslu jako vysokopecní granulovanou strusku, na kterou se zaměřuje i tato práce. Další použitelné druhotné suroviny jsou popílký z odvětví elektrárenství či metakaoliny připravené plavením kaolinu a následným výpalem.

Proces jejich aktivace je podmíněn vhodným alkalickým prostředím, které do něj vnáší aktivátory. V případě této práce jde zejména o porovnání jejich vlivu na výsledné vlastnosti systému. Použita byla vodní skla sodná, sodnolithná, lithná, draselná a dále koloidní roztoky křemíku či speciální pojiva.

Cílem této práce je zkoumání vlivu na vybrané konečné vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů na bázi vysokopecní granulované strusky při použití různých aktivátorů a studium jejich chování se zaměřením na vhodnost použití pro uvedení do praxe.

V experimentu byly u připravených receptur zjišťovány konzistence, počátky a konce doby tuhnutí, pevnosti v tahu a tlaku, mrazuvzdornost a odolnost povrchu proti působení chemických rozmrazovacích látek.

V závěrečné části práce byly připraveny ukázky možného uplatnění připravených kompozitů ve stavební praxi, přičemž se tato část výzkumu zaměřila na vzhled povrchu a pórovitost, zpracovatelnost směsi a podmínky odformování, možnosti přípravy ve výrobním procesu.

2. Alkalicky aktivované systémy

Alkalicky aktivované systémy jsou hmoty, které se vydělily z výzkumu geopolymerů a geopolymerních hmot, které definoval prof. J. Davidovits v roce 1978, aby pojmenoval geosyntézu, jež produkuje anorganické polymerní materiály. Jako geopolymery přitom označil kompozitní materiály připravené aktivací metakaolinu roztokem hydroxidu, uhličitanu nebo křemičitanu sodného (draselného).

Geopolymerní materiály jsou zeolitické materiály, které vznikají geopolymerizací, tedy anorganickou polykondenzační reakcí z vysoce zásaditých systémů bohatých na oxid křemičitý a oxid hlinitý. Vyznačují se nejen vysokými počátečními pevnostmi, ale také vykazují malé smrštění a dobrou odolnost vůči zmrazování a rozmrazování. Za vysokých koncentrací alkálií nepodléhají reakcím alkalického rozpínání. Materiály jsou obecně dobře odolné korozi. Velký důraz je kladen na dlouhodobou stabilitu a odolnost proti přírodním vlivům. [10]

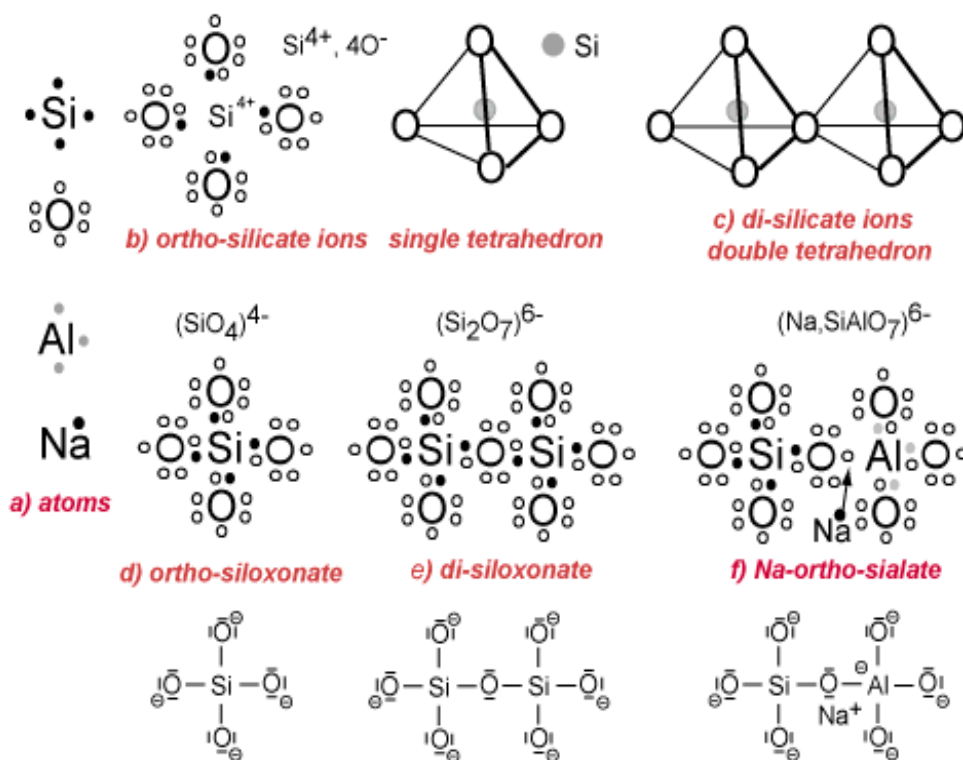
2.1 Procesy a produkty alkalické aktivace

Pod názvem alkalicky aktivovaný systém si lze představit anorganický polymer resp. polykondenzát, makromolekulární struktura kompozitních materiálů podobných konečných vlastností jako například u silikátových systémů na bázi cementu, tedy jako u malt či betonů.

„Průběh procesů při hydrataci a polymerizaci alkalicky aktivovaných systémů je velmi ovlivněn poměrem vstupních veličin, jejich vlastnostmi a charakteristikami okolního prostředí.“ [1,17]

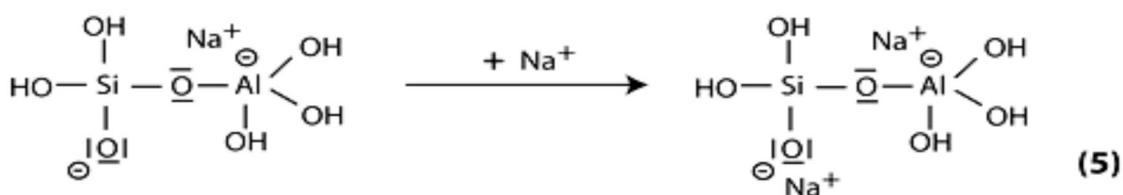
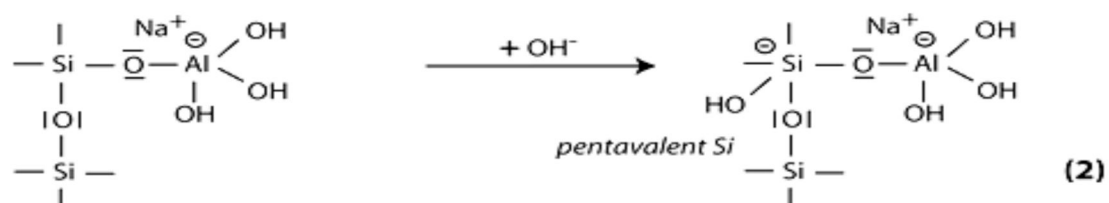
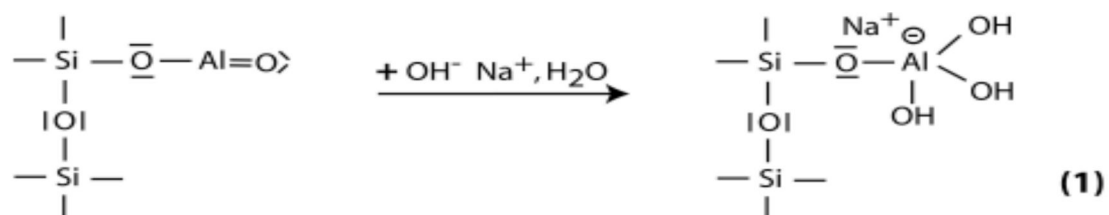
Přístup dle prof. J. Davidovitse

Níže na Obr. 1 je zobrazeno šest základních druhů atomového uspořádání podle vazeb iontových (a-c) a vazeb kovalentních (d-f). [10] Prof. Davidovits rozlišuje základní atomové uspořádání s kovalentními vazbami podle poměru Si/Al na sialáty [-Si-O-Al-O-], sialáty siloxo [-Si-O-Al-O-Si-O-] resp. sialáty disiloxo [-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-]. Jde o hypotetické konfigurace. [1]

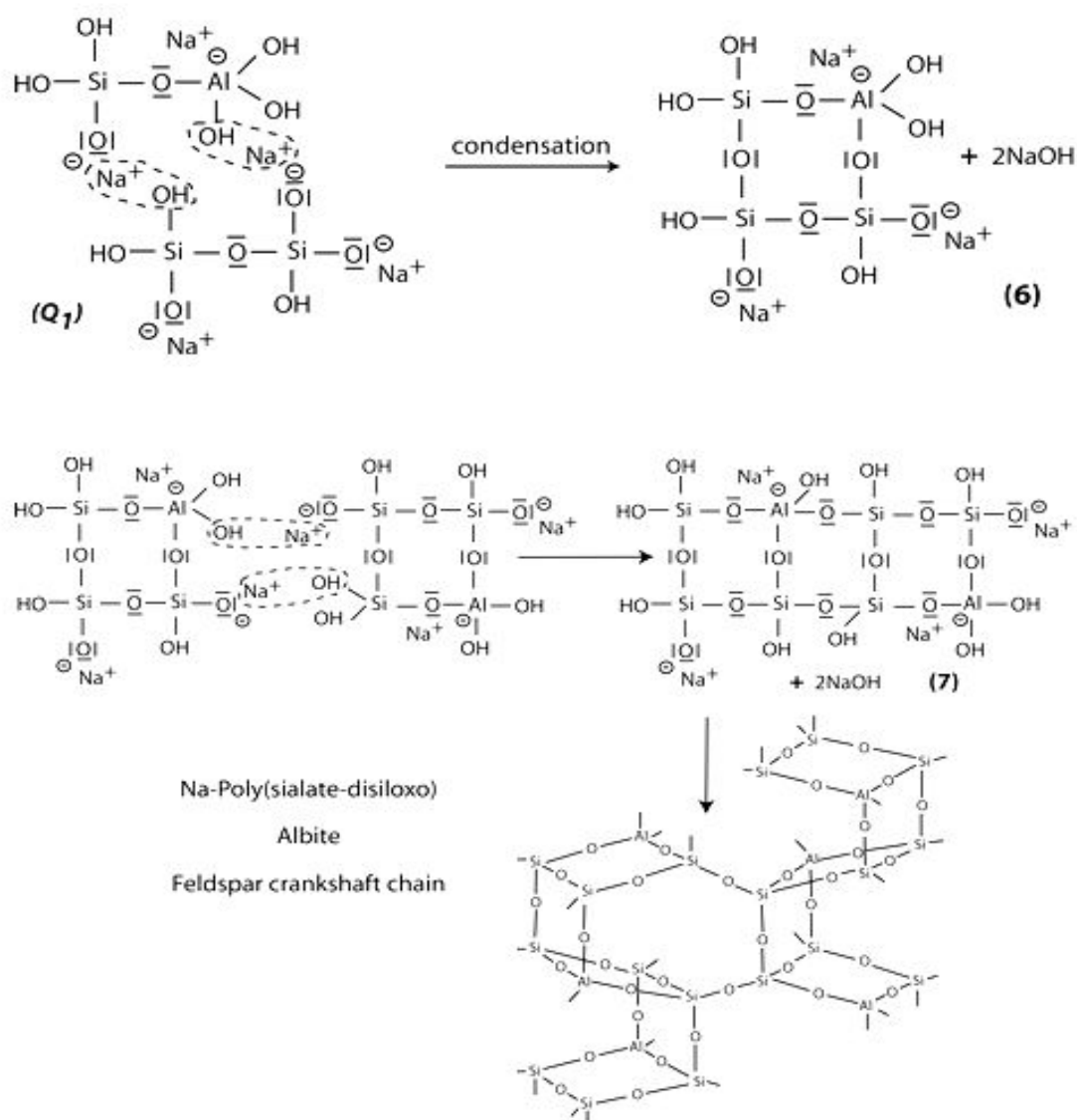


Obr. 1: Zobrazení atomových uspořádání dle Davidovitse. [10]

Samotný proces zpevňování alkalicky aktivovaných systémů na příkladu geopolymérů probíhá způsobem zobrazeným na Obr. 2, má mnoho fází a postupně přechází z alkalického rozpouštění původní směsi. Část (1-3) popisuje především reakci aktivátoru a latentně hydraulického pojiva ve vodě. Tvorba sialátových skupin jako primárních jednotek geopolymérizace a jejich pevných vazeb s ionty aktivátorů Na, K, Li či jiných (4-5). Dále za přítomnosti aktivátoru vznikají kondenzací a polykondenzací disiloxo-cyklické struktury a další polykondenzací vzniká struktura umělého živce Obr. 3 (6-7). [10]



Obr. 2: Zpevňování alkalicky aktivovaných systémů část 1-5 podle Davidovitse. [10]



Obr. 3: Zpevňování alkalicky aktivovaných systémů část 6-7 podle Davidovitse. [10]

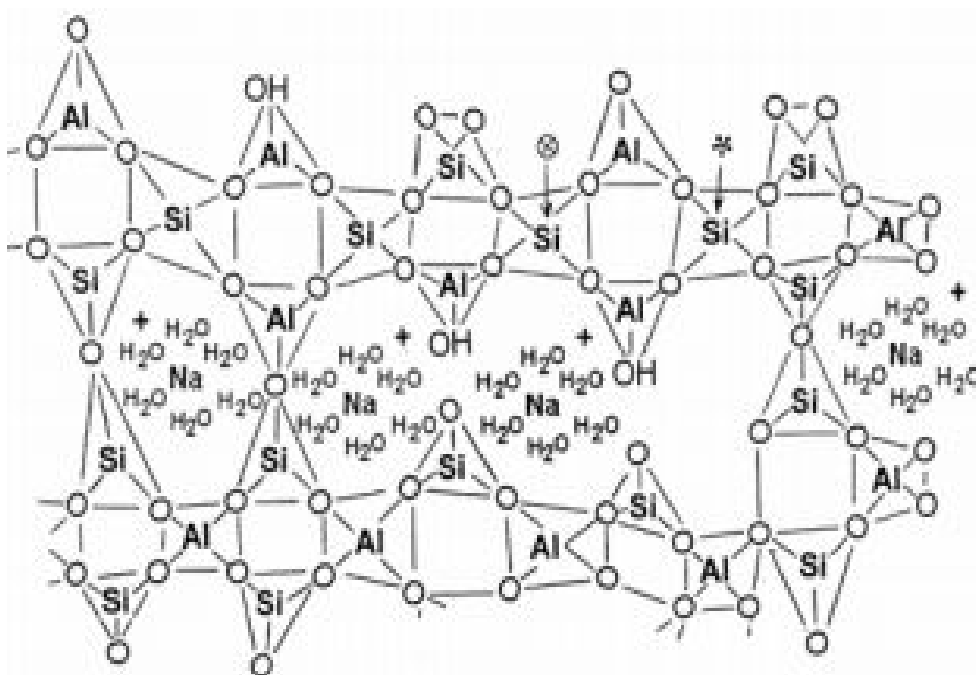
Výsledná geochemická stavba je tvořena zejména prostřednictvím oligomerů (dimer, trimer, tetramer), které vytváří strukturu třídimenziální makromolekulární stavby konečného produktu. [10] Takto vytvořený geopolymery by měl být neporézní, jednolitý materiál. [14]

Přístup obecné alkalické aktivace

Přípravou alkalicky aktivovaných systémů je možno napodobit procesy zpevňování hornin v přírodě. Jejich společným znakem je amorfní trojrozměrná mikrostruktura s nahodilým uspořádáním křemičitanových a hlinitanových tetraedrů viz Obr. 4, s kationtem alkalického kovu

vyvozujiícího náboj, tetraedr může být zapsán jako $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ či $[\text{Al}(\text{OH})_4]$. Tyto lze považovat za prekurzory zeolitů vzájemně se lišících chemickým složením, a to zejména poměrem Si/Al, způsobem přípravy a vlastnostmi. [1]

Lze předpokládat, že takto nebo obdobně vzniklé polymery se skutečně vyskytují ve strukturách útvarů makromolekulární stavby všech alkalicky aktivovaných systémů, u kterých předpokládáme podobný způsob vzniku jako u geopolymu prof. Davidovitse, ale nejsou vázány pouze na čistý metakaolin. Podle vstupních surovin a jejich poměrů je konečná struktura tvořena buď zeolitickou fází nebo C-S-H gely, a to zejména v závislosti na hustotě suspenze a použitých vstupních surovinách. [14] Celkovou strukturu dotváří hydratované ionty alkalických kovů uvnitř trojrozměrné struktury. Schématicky je tato struktura zobrazena na Obr. 4. Alkalicky aktivovaný systém nemá jednolitou strukturu polysialát-siloxo, vyznačuje se nahodilým uspořádáním makromolekulární struktury ve všech rozměrech, obsahuje vodu, a to zejména v pórech a C-S-H gelu, část vody hraje roli jako voda reologická tedy jako nosič alkalického aktivátoru. [1, 14]



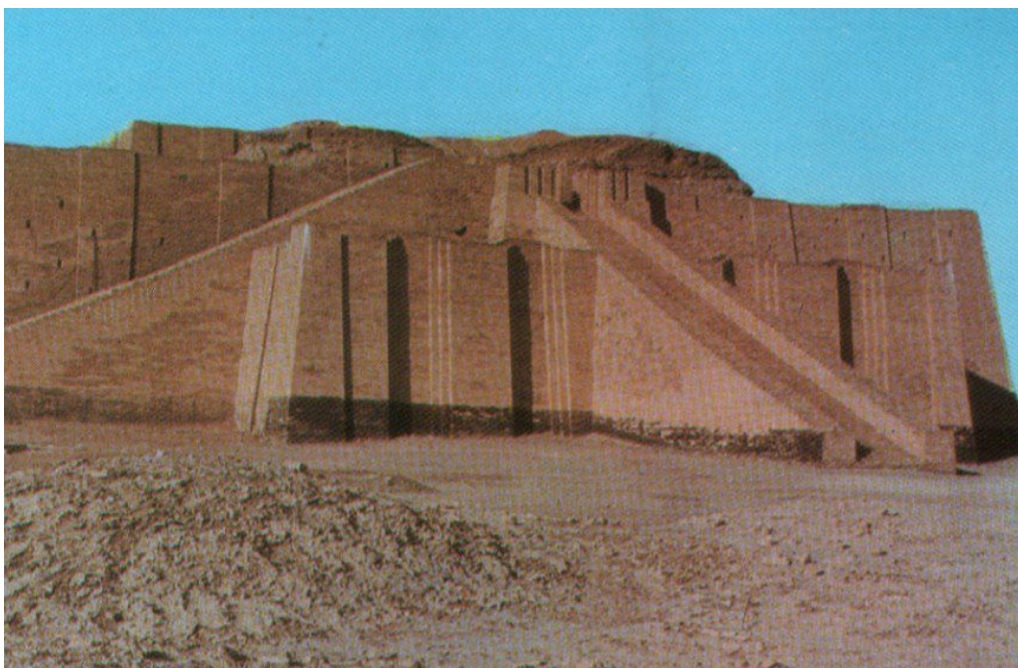
Obr. 4: Schéma neuspořádané struktury alkalicky aktivovaného systému. [1]

2.2 Historie

Z části výzkumů vydaných ve 21. století vyplývá, že významná část historických, především antických a starověkých památek mohla být postavena či rekonstruována metodou geopolymeryce celku či jednotlivých dílů. Jednalo by se tedy o stavby z aglomerovaného kamene, t.j. kamene tvořeného drobnými úlomky hornin, které jsou spojeny křemičitým, uměle vytvořeným tmelem. Vyplývá to z výzkumů italských, francouzských a španělských vědeckých ústavů a laboratoří, které ve svých sbírkách potvrzují i práce Akademie věd ČR, na základě zkoumání vzorků původních stavebních dílů.

Tuto teorii podporuje mimořádná odolnost stavebních prvků, a to v řádu jednotek tisíců let, u nichž bylo moderními metodami prokázáno, že nebyly vypalovány za vysokých teplot, jak se dříve předpokládalo. Také u nich byly prokázány vazby typu Al-O-Si, což jsou vazby charakteristické pro alkalicky aktivované systémy, popsané v kapitole 2.1. Jedná se zejména o stavby sumerské, jako jsou zikkuraty (Obr. 5), perské Ctesiponu (stavební památka jihovýchodně od Bagdádu, cca 100let př.n.l) [13], egyptské pyramidy či část římských staveb.

Zikkurat v Uru je cihelná stavba přibližně pět tisíc let stará. Leží na území starověké Mezopotámie mezi řekami Eufrat a Tygris, v té době obývané národy Sumerů. V porovnání s dnešní cihlou je životnost sumerské cihly nesrovnatelně delší. Obvodové cihly zikkuratu nejspíše nejsou vyrobeny klasickým pálením. Sice mají charakteristiky páleného střepu, ale nezdá se možné, že by je Sumerové zvládli vyrobit v množství cca 8 milionů cihel. K tomu by bylo nutno mnoha dělníků, kteří by museli cihlu postupně formovat, sušit, dopravit a nakonec uložit. Tuto domněnku také potvrzuje skutečnost, že v dané oblasti se nevyskytoval dostatek dřeva jako palivo pro výpal. Bylo uvažováno o alternativních možnostech paliva jako ropa či asfalt, které se v oblasti vyskytují, ale ve vzorcích nebyly objeveny jejich stopy. Vysvětlení tedy může přinést jiná technologická cesta, než tepelné zpracování keramiky, a to chemický proces, neboli geopolymeryzace. Jako surovinový zdroj mohl být použit popel obsahující jak alkálie, tak i CaO potřebné pro alkalickou reakci. Jíly byly prosoleny, protože značná část území byla původně pod hladinou moře. Mořská voda obsahuje značné množství alkálií ve formě solí. Písek byl v krajině rovněž hojně zastoupen. Vedle amorfní struktury zlomků cihly byly zjištěny i vláknité silikátové struktury, což je považováno za důkaz, že cihly nebyly páleny, ale že byly aglomerovány chemickou syntézou, podobně jako jsou tvořeny materiály alkalicky aktivované. [3]



Obr. 5: Zikkurat v Uru [3].

K dalším významným stavbám, o kterých se uvažuje jako o stavbách z aglomerovaného kamene, se řadí Egyptské pyramidy ze staré říše. Nejznámější a nejdiskutovanější v tomto směru je Cheopsova pyramida (Obr. 6).

Od začátku 80. let 20. století předkládá prof. Joseph Davidovits teorii, že byly zkonstruovány pomocí aglomerovaného vápence spíše, než-li z tesaných a přemísťovaných bloků přírodního vápence, což odpovídá obecně uznávané teorii. Aglomerovaný vápenec se vyráběl přímo na místě do bednění střídavou technologií, aby již ztvrdlé kvádry posloužily jako stěny nově vyráběným. Toto vysvětluje minimální spáry mezi obrovskými bloky za použití pouze primitivních nástrojů. Výroba směsi probíhala pravděpodobně tak, že Egypťané dolovali poměrně měkký vápenec a vyplavený vodou jej nechali rozdrolit. Při záplavě byl přinesen také jíl kaolinitického typu z břehů řeky a tato směs se skladovala ve velkých nádržích podobných nádržím zavlažovacím, jenž jsou běžně v Egyptě používány. Dále byl přidáván popel bohatý na vápno a natron (uhličitan sodný), který se těžil z natronových jezer a dodával směsi potřebné množství alkalické složky. Směs poté byla v tekutém stavu dopravována v koších či vědrech na příslušné místo, ukládána do bednění a na místě pěstována jednoduchými pěchy.



Obr. 6: Cheopsova pyramida [11].

Uvedená metoda poskytuje nejjednodušší vysvětlení výskytu v některých případech až 30 tunových bloků a jejich dokonalé opracování ve vyšších částech pyramid. Za pomoci moderních metod měření bylo dokázáno, že materiál se neshoduje chemicky s žádným druhem vápence těženým v lomech okolo Nilu. Lišil se zejména v poměru vápenných a křemičitých složek a také obsahoval aluminosilikáty, jenž běžný vápenec neobsahuje. Stavební blok měl také velké množství rovnoměrně rozmístěných, uzavřených vzduchových pórů, což neodpovídá lomovému kameni. Celkově tuto teorii stavebně, sociálně, ekonomicky i historicky popisuje prof. Davidovits ve své knize. [11]

Důležitým mezníkem na poli stavebních technologií je římská malta na bázi pucolánových cementů. Mnoho staveb, ať už chrámů, aquaduktů (Obr. 7) či jiných vzniklo v Římě za pomoci litého kamene. Dnes experti začínají pochybovat, jestli byl použit skutečně pálený cement nebo stavby vznikly alkalickou, tedy studenou syntézou kaolinitických jílů. Dle nových překladů Vitruviových spisů - Deset knih o architektuře, lze interpretovat texty tak, že vysoká kvalita

římského betonu spočívala v použití uměle vyráběné pucolánové malty a betonů. Byly těženy dva druhy pucolánů: vápeno-kaolinové jíly a vápenaté vulkanické kameny. Vápeno-kaolinové jíly se používaly jako přírodní reaktivní vulkanický písek, který byl použit při výrobě umělých materiálů. Směs s vodou vytvářela hutnou pastu, která mohla být plněna různými typy plniv jako křemičitý písek, dalším přídavkem byl vápenec či jeho drť. Získaný materiál byl pevný a trvanlivý podobně jako u alkalicky aktivovaných systémů. [3]



Obr. 7: Římský akvadukt Segovia stavěný dle Vitruvia.

Zdá se, že rozpadem těchto velkých a vlivných kultur se část jejich vědomostí ztratila, nebo byla ve starších překladech špatně pochopena. Proto se vyskytují tyto důkazy o alkalické aktivaci pouze ve starověké kultuře a v dnešní době ji musíme znovu objevovat. Dnešní multidisciplinární skupiny vědců tyto vědomosti lidstvu znovu pomalu odkrývají.

2.3 Novodobý výzkum

První novodobou zmínkou o geosyntéze jsou záznamy v průmyslové aplikaci keramické reakce s alkáliemi v závodech firmy Olsen v roce 1934, kdy jako vstupní suroviny byly použity jeden díl jílu, kaolínu, zreagovaný s uhličitánem sodným za teploty 150 °C. Na tyto práce navázal v roce 1970 ruský tým vědců Berg & al., avšak jejich objevy neměly žádné úspěšné pokračování ve formě zavedení do výroby. [1, 3]

První zkoušky aktivace strusky hydroxidem sodným publikoval belgický vědec Purdon v roce 1940, zůstaly však řadu let bez povšimnutí. Technicky významný výzkum a vývoj alkalicky aktivovaných aluminosilikátů se připisuje až prof. Gluchovskému z Kyjeva, který v padesátých letech používal vhodné jíly pro alkalickou aktivaci pro materiály s názvem „hlinitobetony“. Po úspěšné aplikaci vysokopeční strusky byly tzv. strusko-alkalické betony používány při stavbách kanalizací a dalších značně namáhaných konstrukcí. [1]

Od roku 1969 se vědci Besson, Caillere a Henin ve Francouzském muzeu přírodní historie v Paříži zabývali studenou syntézou. Výsledkem jejich práce bylo spojení různých kaolinitických látek v koncentrovaném roztoku chloridu sodného za teploty 100 °C. [3]

V roce 1972 tým vědců z oboru keramiky, pod vedením J. P. Lapatie a M. Davidovicse, potvrdil, že vodě odolné keramické obkladačky mohou být vyrobeny za teploty nižší, než 450 °C, tedy bez nutnosti výpalu.[3]

Další světový vývoj geopolymerních hmot vede prof. Joseph Davidovits. Jeho přínos byl popsán v kapitole 2.1.

3. Použité suroviny

V této kapitole jsou stručně popsány suroviny použité v experimentu, tedy záměsová voda, jemně mletá granulovaná vysokopecní struska, normový křemičitý písek frakce 0/2 mm a zejména použité druhy aktivátorů.

3.1 Záměsová voda

Z důvodu aplikovatelnosti v praxi byly na vodu kladeny stejné nároky, jako na běžně používanou záměsovou vodu ve stavebnictví, a to podle normy ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané pro recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu. [4] Vzhledem k požadavkům, dostupnosti a opakovatelnosti byla použita jako záměsová voda do všech směsí pitná voda z vodovodního řadu, jež všechny požadavky splňuje.

Pro úpravu silikátového modulu použitých aktivátorů byla použita voda demineralizovaná, aby byla zaručena dobrá rozpustnost hydroxidu sodného a co nejvyšší čistota použitého ředícího roztoku pro úpravu aktivátorů.

3.2 Křemičitý písek

Písek pro všechny směsi byl zvolen dle požadavku norem - standardní písek CEN, ČSN EN 196-1 [5]. Jedná se o přírodní křemičitý písek se zaoblenými zrny s obsahem oxidu křemičitého nejméně 98 % hmotnosti. Jeho požadovaná granulometrie je uvedena v Tab. 1. Jeho vlhkost musí být menší, než 0,2 % objemových. Stanovuje se na reprezentativním vzorku sušením po dobu dvou hodin na 105 - 110 °C. Použitý písek je z produkce firmy Filtrační písky, spol. s r.o., jeho vlastnosti dokládá certifikát (Příloha 8).

Tab. 1: Granulometrie standardního písku CEN. [5]

Velikost čtvercového oka síta	Souhrnný zbytek na sítích
v mm	v %
2,00	0
1,60	7±5
1,00	33±5
0,50	67±5
0,16	87±5
0,08	99±1

3.3 Jemně mletá granulovaná vysokopecní struska

Struska obecně vzniká jako odpad při výrobě v metalurgii jako částečně recyklovatelný odpad. Je tvořena zejména nekovovými složkami vsázky společně s produkty metalurgických reakcí v průběhu výpalu a části vyzdívek vyplouvající na povrch taveniny a vytvářející ochranou vrstvu, zabraňující opětovné oxidaci kovových složek v tavenině. Z tohoto důvodu jsou přidávány do vsázky struskotvorné přísady jako vápenec, kazivec, křemenný písek a také již dříve utvořená struska. [18, 15]

Strusky vzniklé jako odpad při výrobě mědi, niklu, zinku nebo olova, mají rovněž latentně hydraulické vlastnosti, vzhledem k vyššímu obsahu kovů však nejsou pro uplatnění ve stavební praxi vhodné. [15]

Strusky vzniklé při výrobě železa, takzvané vysokopecní strusky jsou pro svou relativní stálost složení vysoce ceněny, především jako příměsi do portlandského cementu. Vysokopecní strusky zpravidla obsahují 30 - 50 % CaO, 30 - 43 % SiO₂, 5 - 18 % Al₂O₃, 1 - 15 % MgO, v malém množství se vyskytují oxidy železa a manganu. Nežádoucí je přítomnost sulfidů železa a manganu, jejich vlivem dochází k železnatému a manganatému rozpadu. Ve vlhkém prostředí železo oxiduje za vzniku síranu železnatého a železitého, mangan ze sulfidu manganatého přechází do hydroxidu manganatého. Tyto reakce vedou ke zvětšení objemu produktu, dochází k pomalému rozpadu granulovaných strusek. Nedostatkem je také rekrystalizace strusek, při níž vzniká gehlenit, akermanit a další fáze, což vede ke zhoršování fyzikálně - mechanických vlastností vyrobených produktů. [15]

Aby byla zaručena latentní hydraulická aktivita strusek je nutné, aby obsahovaly vysoký podíl amorfni fáze. Toho je docíleno tak, že po odpichu je struska dopravována ke granulačním věžím a je vylévána a prudce chlazena vodou, granulována. U nedostatečně rychle zchlazené strusky dochází ke krystalizaci. [18, 15]

Granulovanou strusku je nutno velmi jemně umlít tak, aby měla dostatečný měrný povrch pro požadovanou reaktivnost. Jako součást alkalicky aktivovaného pojiva je tedy použita vysokopecní jemně mletá granulovaná struska firmy Kotouč Štramberk, spol. s r. o. (Tab. 2) dle prohlášení o shodě splňuje požadavky normy ČSN EN 15167-1 Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody. [6] (Příloha 9)

Tab. 2: Základní charakteristiky strusky dle prohlášení o shodě.

Základní charakteristiky	Jednotka	Množství
Pevnost v tlaku po 7 dnech (index účinnosti)	%	≥ 45
Pevnost v tlaku po 28 dnech (index účinnosti)	%	≥ 70
Počátek tuhnutí	t < t cementu 2x	
Jemnost	m ² /kg	≥ 400
Obsah oxidu hořečnatého	%	≤ 18
Obsah sulfidů	%	≤ 2,0
Obsah síranů	%	≤ 2,5
Ztráta žháním	%	≤ 3,0
Obsah chloridů	%	≤ 0,1
Obsah vlhkosti	%	≤ 1,0

Dále v tabulce Tab. 3 je složení obvyklé pro strusky dle země jejich původu. V našem případě se jedná o strusku původem z ČR, a proto je důležitý zejména třetí sloupec, jenž odpovídá reálnému složení strusky použité pro práci.

Tab. 3: Typické složení vysokopecních strusek. [9]

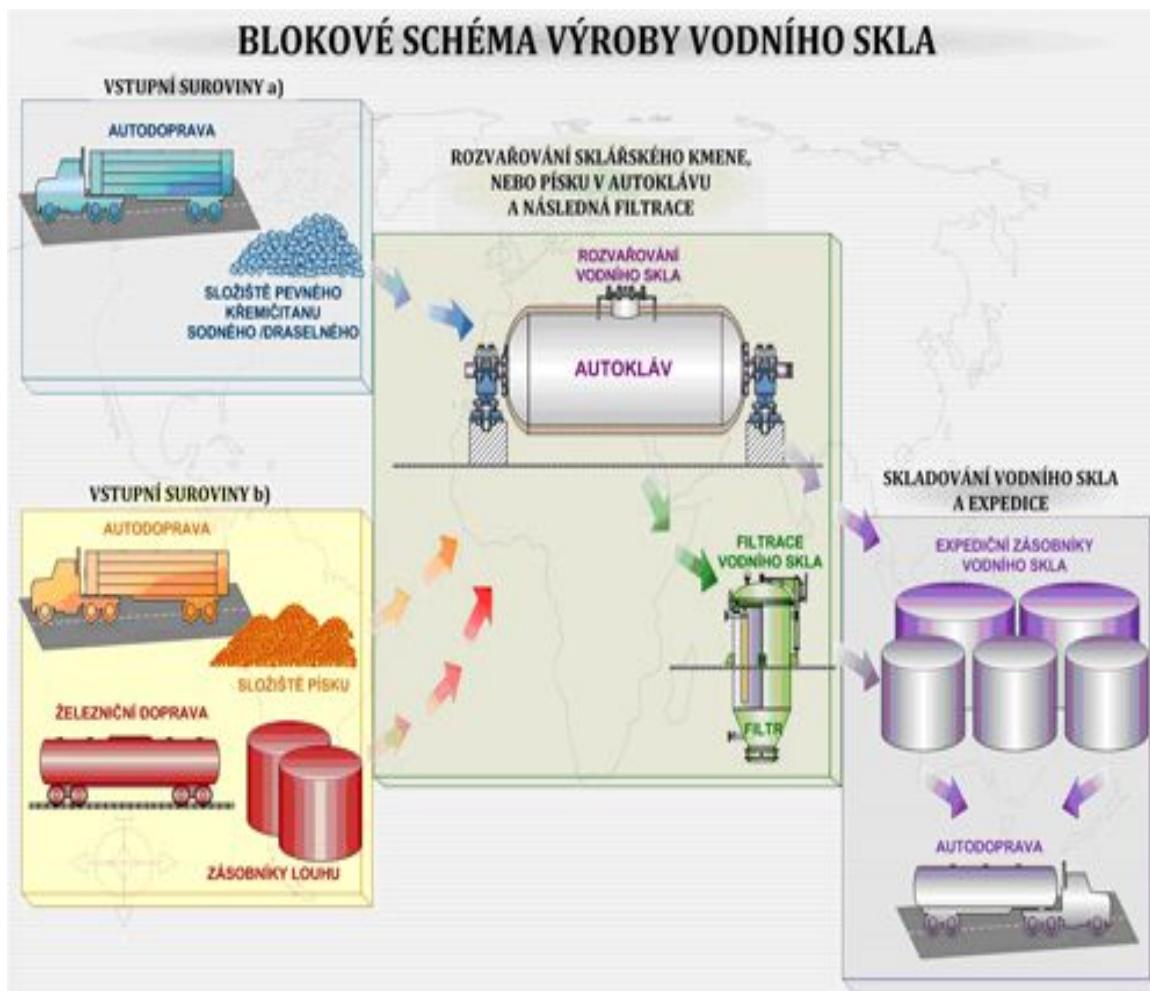
Vzorec	Francie	Severní Amerika	Česká Republika
SiO ₂	29 – 36 %	33 – 42 %	25 – 45 %
Al ₂ O ₃	13 – 19 %	10 – 16 %	4 – 15 %
CaO	40 – 43 %	36 – 45 %	26 – 45 %
Fe ₂ O ₃	< 4 %	0,3 – 20 %	< 1,5 %
MgO	< 6 %	3 – 12 %	4 – 15 %
S ⁻	< 1,5 %	-	< 3 %

3.4 Aktivátory

V práci byly použity aktivátory z produkce firem Vodní sklo a.s., Kittfort Praha, s.r.o. a Penta s.r.o., většinou se jedná o vodní skla a vodné roztoky křemíku s určitými druhy oxidů. Použit byl také jeden aktivátor v pevném stavu, a to metakřemičitan disodný. Všechny použité aktivátory jsou silně agresivní a při práci s nimi je nutné dodržovat požadavky na bezpečnost práce s chemikáliemi a používat ochranné prostředky. Jejich specifikace jsou uvedeny dále.

Výroba společnosti Vodní sklo a.s.

Vodní sklo se vyrábí ze sklářského písku (oxid křemičitý, 70-75 %) tavením ve sklářské vanové peci při teplotě 1400 – 1600 °C za pomoci alkalických tavidel – soda (oxid sodný) nebo potaš (oxid draselný) či oxid lithný, tj. látek, které tavení písku usnadňují. Roztavená sklovina se prudce chladí za účelem rozpraskání na co nejmenší části (vizuálně podobné kouskům ledu) a tím co nejjednodušší následné rozpouštění. Takto připravený vstupní materiál se pomocí hydroxidu sodného, draselného nebo lithného, vody, vysoké teploty a tlaku rozpouští v autoklávu (vytápěná, uzavíratelná tlaková nádoba) na tekuté vodní sklo. Tímto způsobem lze vyrábět všechny typy vodních skel (Obr. 8). [19]



Obr. 8: Blokové schéma výroby vodního skla. [19]

3.4.1 Draselné vodní sklo

Vodní sklo draselné je čirá nebo slabě zakalená viskózní kapalina, bezbarvá nebo lehce nažloutlá, neomezeně mísitelná s vodou.

Běžně se používá k výrobě speciálních dezinfekcí a odmašťovadel, jako pojivo do speciálních žáruvzdorných vyzdívek, jako náplň do alkalických akumulátorů a pro výrobu fasádních nátěrových hmot na silikátové bázi.

V tabulce Tab. 4 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek vodního skla jak je uvádí výrobce. V této práci byla použita draselná vodní skla se silikátovým modulem 1,7, která pro zjednodušení zápisu DVS2, a také se silikátovým modulem 3,0 dále uváděno jako DVS3 (Příloha 1).

Tab. 4: Složení vodního skla draselného.

Vlastnost	Jednotka	DVS 2 (1,7)	DVS 3
Obsah K_2O	min. % hm.	26 – 26,5	12
Obsah SiO_2	min. % hm.	28,2 – 29	24
Obsah sušiny	min. % hm.	54,2 – 55,75	26
Molární poměr SiO_2/K_2O	-	1,67 – 1,73	3,0 – 3,2
Hustota	min. kg /m ³	1650 – 1670	1350
Hustota	°Bé	51 -53	37 – 38
Viskozita	mPa.s	110 - 230	25 – 35

3.4.2 Sodné vodní sklo

Vodní sklo sodné je čirá nebo slabě zakalená viskózní kapalina nažltlé nebo narůžovělé barvy, neomezeně mísitelná s vodou.

Běžně se používá k výrobě alkalických křemičitanů k odmašťování, dále k výrobě pracích a dezinfekčních prostředků, jako slévárenská surovina pro výrobu forem, jako složka protipožárních nátěrů a nehořlavých stavebních materiálů, jako pojivo v různých tmelech a lepidlech, do tzv. chemicky tvrzených směsí a pro povrchovou úpravu papíru, dřeva a textilu.

V tabulce Tab. 5 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek vodního skla jak je uvádí výrobce pro základní vodní sklo neupravené NaVS3,7 od firmy Kittfort Praha, s.r.o. Toto vodní sklo bylo dále upravováno 33 % roztokem NaOH a to na silikátový modul 1,5 a 2,6. (Příloha 2)

Tab. 5: Složení vodního skla sodného.

Vlastnost	Jednotka	NaVS1,5	NaVS2,6	NaVS3,7
Obsah Na_2O	min. % hm.	10,8	9,1	7,25
Obsah SiO_2	min. % hm.	15,8	23,4	26
Molární poměr	-	1,46	2,58	3,68
Hustota	min. kg /m ³	1352	1351	1350

3.4.3 Sodnolithné vodní sklo

Sodnolithné vodní sklo je bezbarvá až čirá či mírně zakalená nízkoviskózní kapalina, tvořená směsí lithných a sodných křemičitanů. Výhodou tohoto vodního skla je stabilita a nízká

viskozita i při vysokých molárních poměrech a koncentracích okolo 20 % SiO_2 .

Běžně se toto vodní sklo používá jako pojivo pro antikorozní ochranné povlaky, zejména kovů s obsahem zinku, olova či hliníku, s kterými reaguje a vytvrzuje v čase a vyznačuje se vynikající přilnavostí ke kovovému povrchu. Dále se používá pro dočasné ochranné povlaky na kovové a jiné povrchy, jako vytvrzovací činidlo v inertních lepidlech, kterými je možné slepovat dřevo, papír, lepenku, tkaninu, plastické hmoty, sklo, porcelán, kovy, beton, cihlu a zaručuje odolnost spoje proti vodě.

V tabulce Tab. 6 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek vodního skla, jak je uvádí výrobce. (Příloha 3)

Tab. 6: Složení vodního skla Sodnolithného.

Vlastnost	Jednotka	NaLiVS
Obsah Li_2O	min. % hm.	1,7 – 1,9
Obsah Na_2O	min. % hm.	1,1 – 1,4
Obsah SiO_2	min. % hm.	17,7 – 22,2
Molární poměr	-	6,3 – 6,7
pH	-	12,5 – 13,5
Hustota	min. kg/m^3	1190
Viskozita	mPa.s	3

3.4.4 Lithné vodní sklo

Lithné vodní sklo je čirá nebo slabě zakalená nízkoviskózní kapalina mísitelná s vodou v libovolném poměru.

Běžně se používá jako pojivo při výrobě speciálních nátěrových hmot, k ochraně dřeva proti hnilobě, ohni, vodě, biologickým škůdcům, k impregnaci přírodních materiálů, azbestu a skelných vláken. Samotná lithná vodní skla nebo ve spojení s přísadami jsou účinným spojovacím a tmelícím prostředkem u vodě odolných spojení dřeva, papíru, lepenky, tkanin, plastických hmot, kovů, betonů, cihel, atd. Dále se používají k výrobě svařovacích elektrod, ke zpevňování pórovitých přírodních, umělých i historických omítek a savých přírodních i umělých kamenů.

V tabulce Tab. 7 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek vodního skla, jak je uvádí výrobce.

Tab. 7: Složení vodního skla Lithného.

Vlastnost	Jednotka	LiVS
Obsah Li_2O	min. % hm.	3,1
Obsah SiO_2	min. % hm.	19
Molární poměr	-	3,0 – 3,5
pH	-	10 – 11
Hustota	min. kg/m^3	1190
Viskozita	mPa.s	3

3.4.5 Metakřemičitan sodný

Metakřemičitan sodný je bílý krystalický prášek o nesourodé velikosti částic, snadno rozpustný ve vodě. Je velice náchylný k pojímání vzdušné vlhkosti.

Běžně se používá zejména k výrobě průmyslových detergentů, pracích a dezinfekčních prostředků, ve stavebnictví ve formě roztoků pro ochranu stavebních materiálů a zvýšení jejich voděodolnosti.

V tabulce Tab. 8 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek metakřemičitanu, jak je uvádí výrobce. (Příloha 5)

Tab. 8: Složení metakřemičitanu sodného.

Vlastnost	Jednotka	MKS
Obsah Na_2O	min. % hm.	44
Obsah SiO_2	min. % hm.	44
Molární poměr	-	1
Sypná měrná hmotnost	min. kg/m^3	950
pH	-	12,5

3.4.6 Desil AL

DESIL AL je koloidní roztok s přísadou hliníku, který se liší ve svém složení liší od klasických koloidních roztoků vodních skel. Je to koloidní roztok, jehož složení se velmi podobá zeolitickým strukturám. Atomy hliníku tvoří lokální záporný náboj, který lokalizuje iont pevněji ve výsledné struktuře. To snižuje koagulační práh a zlepšuje pevnostní vlastnosti při vyšších

teplotách.

Je možné jej použít jako pojivo ve slévárenství, při zpracovávání odpadů, při výrobě detergentů, čistících prostředků a tepelně izolačních materiálů, jako flokulant vody při čištění odpadních vod.

V tabulce Tab. 9 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek DESIL AL 1 jak je uvádí výrobce. (Příloha 6)

Tab. 9: Složení DESIL AL 1.

Vlastnost	Jednotka	Desil
Obsah Al	min. % hm.	0,1 – 2
Obsah Na ₂ O	min. % hm.	15
Obsah SiO ₂	min. % hm.	31 – 45
Molární poměr	-	2,1-3
Hustota	min. kg /m ³	1470 – 1570

3.4.7 Koloidní oxidy křemíku

Opalizující nebo mléčně zabarvené koloidní roztoky kyseliny křemičité ve vodě. Slabě alkalické typy s pH 8,0 - 10,5 a nízkým obsahem stabilizačních alkálií. Všechny typy jsou anionaktivní a částice mají záporný náboj.

Běžně se používají jako pojiva při výrobě žáruvzdorných materiálů, povrchová úprava textilních vláken, papíru a kartonu, do nátěrových hmot, stavební chemie, jako složka do sanačních přípravků, při výrobě vín a ovocných šťáv, ve stomatologii.

V tabulce Tab. 10 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek koloidních oxidů křemíku jak je uvádí výrobce. (Příloha 7)

Tab. 10: Složení koloidních oxidů křemíku.

Vlastnost	Jednotka	Tosil A	Bindzil 1440	Bindzil 1430 MSLV
Obsah Na ₂ O	min. % hm.	0,15 – 0,25	0,35 – 0,6	0,1 – 0,2
Obsah SiO ₂	min. % hm.	29	38 – 40,6	30
Molární poměr	-	116-193	67 – 108	150-300
pH	-	9 – 10	9,9 – 10,9	8,0 – 9,5
Hustota	min. kg /m ³	1200	1288 – 1307	1203 – 1211
Viskozita	mPa.s	5	Max 30	5
Velikost částic	nm	12 – 17	-	14
Nemrzoucí úprava	Ano/Ne	Ano	Ano	Ano

4. Cíle práce a rozdělení na fáze

V následující kapitole jsou vytyčeny cíle práce a rozdělení činností do tří fází dle logické návaznosti na prováděný výzkum.

4.1 Cíle práce

Cílem této práce je ověření vlivu a vhodného množství konkrétního aktivátoru na zejména fyzikálně-mechanické vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů s ohledem na jejich budoucí použitelnost v praxi.

V této práci se zejména jedná o vliv sodných, draselných, sodnolitných a lithných vodních skel, dále také několika speciálních aktivátorů jako je metakřemičitan sodný, DESIL AL a roztoky koloidních oxidů křemíku ve spojení s vysokopecní jemně mletou granulovanou struskou jako alkalicky aktivovaného pojiva. Součástí práce je zhodnocení vhodnosti jednotlivých aktivátorů pro další výzkum v oblasti stavebních hmot a také v laboratorním měřítku ověření možnosti přípravy výsledných směsí způsobem aplikovatelným v praxi a zhodnocení použitelnosti a proveditelnosti pro danou aplikaci.

4.2 Fáze I - zhodnocení vhodnosti aktivátorů, výběr směsí

V této fázi bakalářské práce se zaměřuji zejména na výběr vhodných receptur, množství použitých surovin pro jednotlivé záměsi, a to zejména množství použitého aktivátoru pro další zpracování. Na základě zpracovatelnosti, konzistence, době odformování, zdravotní nezávadnosti při míchání, časových možnostech zpracování čerstvé směsi a mechanických vlastnostech proběhlo vyhodnocení. Zhodnocením výše uvedených vlastností získáme podklady pro výběr vhodných aktivátorů a vyloučení aktivátorů nevhodných pro další výzkum dle daných požadavků a reálných potřeb využití v praxi.

4.3 Fáze II - Fyzikálně-mechanické vlastnosti vybraných směsí

Tato část experimentu se věnuje ověření konečných fyzikálně-mechanických vlastností záměsí vybraných ve fázi I. Toto bylo prováděno dle platných norem pro cementové výrobky na vzorcích tvaru trámečku (40 x 40 x 160) mm, zjištění nárůstu pevností v závislosti na době zrání, tedy zjišťování pevností po jednom, sedmi a osmadvaceti dnech v tahu a tlaku, ověření jejich odolnosti proti zmrazování, ověření odolnosti povrchu proti působení chemických rozmrazovacích látek, stanovení počátků a konců dob tuhnutí.

4.4 Fáze III – Možnosti uplatnění ve stavební praxi

V poslední fázi výzkumu alkalicky aktivovaných systémů byly ověřovány parametry požadované přímo ve stavební praxi. Zvolenou aplikací byly fasádní prvky, kde by se alkalicky aktivované systémy mohly uplatnit při rekonstrukcích či jiných stavebních činnostech v oboru štukatérství. Požadavky pro tuto fázi byly konzultovány s vedoucím firmy Štukatérství Josef Trela.

Po konzultaci s odborníkem byla práce zaměřena především na minimální dobu vyjmutí vzorků z formy, jelikož rychlé odformování v praxi znamená vyšší efektivnost výroby. Toto bylo zkoušeno na vzorcích v klasických kovových formách na trámečky (40 x 40 x 160) mm vzhledem ke složitosti formy použité pro ostatní pokusy.

Také jsem se zaměřil na možnosti míchání a hutnění v podmínkách, které by firma mohla

dodržet se stávajícím vybavením a zejména s ohledem na vizuální hodnocení povrchů, jak z hlediska pórovitosti, tak kvality vyplnění formy při daném způsobu hutnění a celkového vzhledu povrchů vytvořených prvků, což bylo prováděno na zhotovených rozetách. Jedná se o vnitřní fasádní prvek použitý k výzdobě společných prostor v měšťanském domě v historickém centru Olomouce.

5. Metodika pracovních postupů

V této kapitole jsou shrnuty všechny metodiky k postupům provedeným v práci, zejména metodiky způsobů výroby vzorků pro jednotlivé fáze, metodiky způsobu výběru směsí a metodiky zkušebních postupů.

5.1 Metodika způsobu výroby

Metodika výroby vzorků ve fázi I a II se ve své podstatě shoduje s požadavky danými normami, dle ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu, s nutnými úpravami pro směsi alkalicky aktivovaných systémů. Ve fázi III jsou použity obdobné postupy s dalšími úpravami pro opakovatelnost v praktických podmínkách výroby. Tyto metodiky zde uvádím z důvodu kontrolovatelnosti a opakovatelnosti postupů s adekvátními výsledky.

5.1.1 Fáze I a II

Výroba vzorků: Laboratorní podmínky, vlhkostní skříň, míchačka (Obr. 9), střešací stolek i formy (Obr. 10) se plně shodují s požadavky normy ČSN EN 196-1 [5]

Typická záměs obsahuje jeden díl strusky, tři díly standardního písku, aktivátor a vodu dle dané receptury s tendencí blížit se půl dílu tekuté složky jak zadává norma.

Vážení probíhalo za laboratorní teploty na váze přesností ± 1 g

Míchání:

- a) Do nádoby se opatrně vlije voda, aktivátor a přidá se struska.
- b) Ihned se spustí míchání na nízkou rychlost (program 2), otáčky kolem osy metly $140 \pm 5 \text{ min}^{-1}$, otáčky kolem osy nádoby (62 ± 5) min^{-1} , po 90 s se míchá, poté se na 30 s zastaví. Během této přestávky je vhodné setřít vzniklou kaši, která ulpí na stěnách a umístit do středu nádoby. Míchačka se uvede znovu do chodu a na nízkou rychlost na dobu dalších 90 s .
- c) Po dokončení míchání je vhodné opět setřít kaši, která ulpěla na stěnách nádoby a spustí se míchání (program 1), nejprve míchá po 30 s nízkou rychlostí. Dále se po 30 s plynule přisypává písek počínaje hrubou frakcí. Poté se míchání přepne na vysokou rychlost, otáčky kolem osy metly (285 ± 10) min^{-1} , otáčky kolem osy nádoby (125 ± 10) min^{-1} a míchání pokračuje dalších 30 s. Míchačka se na 60 s zastaví. V průběhu pauzy se pomocí stěrky setře všechna malta, která ulpěla na stěnách nádoby a umístí se do jejího středu. Míchání pokračuje 60 s vysokou rychlostí.

Jedná se o kombinaci normových programů pro stanovení vlastností dob tuhnutí a programu pro stanovení pevností. K této kombinaci jsme došli empiricky, jako ke vhodnému způsobu míchání pro alkalicky aktivované systémy maltových směsí, kdy se směs nesráží a pojivo se vhodně aktivuje.



Obr. 9: Míchačka Beton systém MI – CM5A.

Výroba zkušebních těles: Zkušebními tělesy jsou trámečky (40 x 40 x 160) mm

a) Zkušební tělesa se vyrábějí bezprostředně po namíchání malty. Do forem dle normy se separační vrstvou z minerálního oleje. Vzhledem k velké přilnavosti směsí k formám byla na kovovou podložku kladena vrstva smršťovací folie, která má zaručit lepší podmínky při odformování daných směsí.

b) Forma je plněna ve dvou vrstvách. Hutněna vibrací po dobu 120 s. V každé vrstvě se malta rovnoměrně rozprostře. Plním první vrstvu zhruba do poloviny. Obsah zarovnam po okraj formy. Všechny formy byly označeny příslušným popisem. Setřením se odstraní zbytky malty, které ulpí na okrajích formy. Na formu se položí skleněná deska překrývající formu. Pozn.: Pokud nebyl dostatek skel na překrytí vzorků, byl překryt vrstvou smršťovací folie.



Obr. 10: Vibrační stůl s formou Beton systém.

c) Formy byly uloženy ve vlhkostní skříni v I. fázi dle potřeby a v druhé fázi z pravidla 24 hodin. Pro zkoušky po 24 hodinách byly vyjmuty těsně před měřením. Pro zkoušky po více než 24 hodinách byly vyjmuty po 20 - 24 hodinách po vyrobení. Byly vhodně označeny a uloženy do vody při laboratorní teplotě. Voda je z vodovodního řádu a po dobu výzkumu nebyla měněna, pouze doplňována.

5.1.2 Fáze III

Ve fázi III této práce byly zhotovovány rozety. Tedy štukatérské prvky pro osazování na fasádu běžně vyráběné v praxi, které mají sloužit k vizuálnímu zhodnocení práce a vhodnosti receptur pro možnou praktickou aplikaci. Na počátku bylo zvoleno ruční míchání s intervaly obdobnými jako ve fázích I a II. Tato metoda se neosvědčila, nejspíše z důvodu nedostatečné intenzity míchání, směs neměla adekvátní vlastnosti (Obr. 11). Proto se od tohoto způsobu upustilo a míchání nadále probíhalo dle výše uvedeného postupu z kapitoly 5.1.1.



Obr. 11: Srovnání těles dle způsobu výroby vlevo ručně, vpravo míchačkou.

Výroba zkušebních těles: Tělesa jsou rozety o průměru 200 mm

- a) Zkušební tělesa se vyrábějí bezprostředně po namíchání malty. Do formy vyrobené z dvousložkové silikonové kaučukové pasty LUKOPREN 1522, uložené v sádrovém kopytu (Obr. 12). Forma byla získána z firmy Štukatérství Jozef Trela. Jako separační vrstva je zde použit v praxi používaný roztok včelího vosku a terpentýnu v poměru 1:3 hmotnostních dílů pro zabezpečení oddělení tělesa od formy.
- b) Vzorky jsou plněny ve dvou vrstvách, kde každá z nich je důkladně udusána dusadlem

a nakonec po dobu asi 30 s hutněna ručním stříráním formou. Tento způsob byl zvolen pro maximální šetrnost k formě a sádrovému kopytu a také pro jeho opakovatelnost v běžné praxi.

c) Vzorky byly překryty sklem a namočenou tkaninou, která zaručovala vlhkost, a uloženy v laboratorním prostředí. Pokud dále není uvedeno jinak, byly po 20- 24 hodinách odformovány a uloženy ve vlhkostní skříni po dobu 7 dní a dále udržovány ve vlhkém prostředí, vhodném pro jejich zrání.



Obr. 12: Forma na rozety a dusadlo.

5.2 Metodika výběru složení směsí

Všechna množství surovin byla pro výběr vhodných směsí odvozována z tabulek dodaných výrobcem o množství jednotlivých složek viz kapitola 3.4.

1) **Příprava dle požadovaného množství alkálií a konzistence** - Jedná se o metodu pro již dříve zkoumané aktivátory, kde množství pro úspěšnou alkalickou aktivaci je již známo. Tedy zejména u draselných a sodných aktivátorů se přidalo 2,5 - 4,5 % hmotnostních $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ k hmotnosti strusky ve formě roztoku aktivátoru nebo metakřemičitanu a přidáním potřebného množství vody pro konzistenci pohybující se v rozmezí (130 ± 10) mm. [1]

2) **Metoda přípravy dle referenční receptury** - Jedná se o metodu vhodnou pro všechny aktivátory. Byla aplikována na všechny druhy aktivátorů v I. fázi, aby byl zhodnocen vliv jednotlivých aktivátorů. Pro tuto metodu bylo vhodně zvoleno množství aktivátoru na 176 ml a 45 ml vody na 450g strusky standardně používané ve všech směsích. Toto množství bylo odvozeno od množství dle metody 1 uvedené výše, pro sodné a draselné vodní sklo v původním stavu bez úpravy silikátového modulu.

3) **Příprava dle požadovaného množství alkálií** - Jedná se o metodu určenou zejména pro aktivátory, které v praxi ještě nebyly zkoumány nebo jen velmi okrajově, a to zejména sodnolithné, lithné, DESIL AL a také vodné roztoky oxidu křemičitého. Zde se hledalo takové množství aktivátoru, aby bylo docíleno 2,5 - 4,5 % hmotnostních oxidů alkalických kovů na celkovou hmotnost strusky. Konečné celkové hmotnosti receptur byly vhodným poměrem redukovány.

4) **Metoda plně experimentální** - Jedná se o metodu určenou zejména pro vodné koloidní roztoky oxidu křemičitého. U nich nelze hledat ideální prostředí pro reakci přidáním dostatečného množství alkálií, protože jejich obsah v aktivátoru se pohybuje pod 1 % hmot. Proto bylo přistoupeno k plně experimentální metodě, při které se na malých vzorcích pouze s pojivem sledovalo jejich chování v laboratorním prostředí, a to zejména doba jejich tuhnutí a konzistence směsi.

Všechny zkoušené směsi jsou uvedeny v kapitole 6.1.

5.3 Metodika zkoušení

Alkalicky aktivované systémy v dnešní době nemají vlastní normové zázemí pro jejich zkoušení. Proto zkoušení směsí probíhalo pokud možno dle normových postupů pro směsi na bázi cementů, tedy malt či betonů. A to z toho důvodu, že zkoumané směsi by měly být jejich alternativou.

5.3.1 Pevnostní charakteristiky

Postup dle normy ČSN EN 196-1 [5]

Zkušební postup: Pro stanovení pevnosti v ohybu byl použit postup středového zatížení pomocí stroje splňujícího dané rozměry a požadavky normy (obr 13).



Obr. 13: Zkušební lis Formtest Mega 100 – B00 – 100M1.

Části zkušebních těles zlomených při zkoušce v tahu ohybem, se zkouší na pevnost v tlaku na ploše (40 x 40) mm bočních stran.

Pevnost tahu za ohybu:

Zkušební těleso se uloží do zkušebního stroje mezi válcové podpěry ve směru zkoušky kolmo na směr plnění (Obr. 14) . Zatížení se přenáší přes zatěžovací válec na boční plochu tělesa a zvyšuje se rovnoměrnou rychlostí (50 ± 10) N/s až do zlomení.

Poloviny trámečků se uchovávají do doby zkoušky pevnosti v tlaku v laboratorním prostředí.

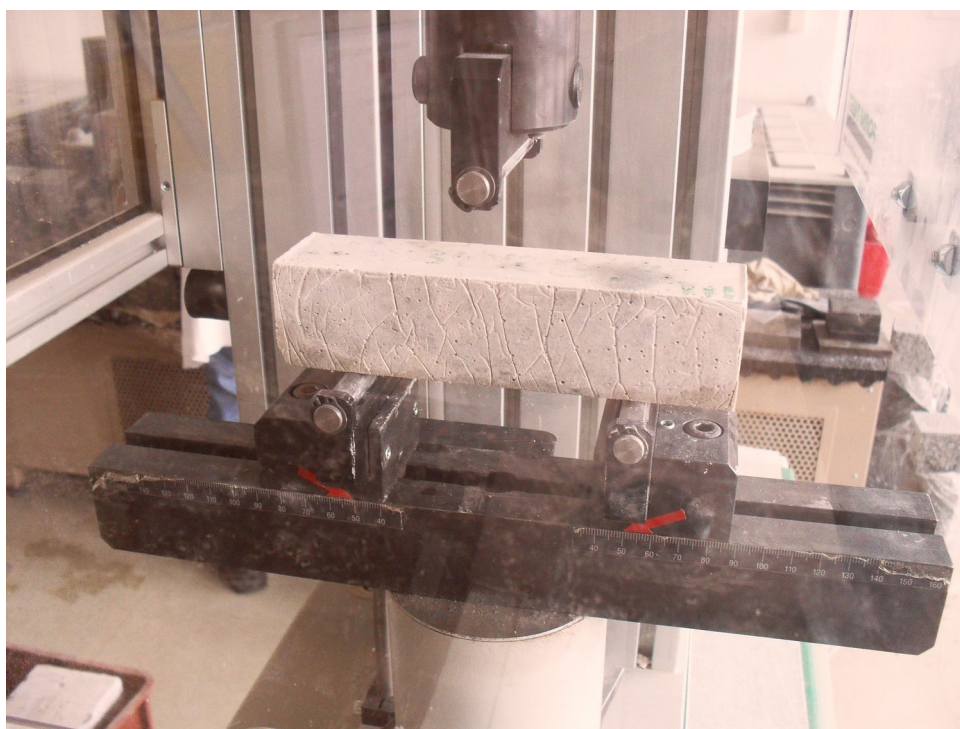
Pevnost v tahu za ohybu R_f se vypočte podle vzorce:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \quad \text{v N/mm}^2 \quad (1)$$

Kde b je délka boční strany

F_f lomové zatížení, vynaložené na střed trámečku v kN

l vzdálenost válcových podpěr v mm



Obr. 14: Zkouška v tahu za ohybu.

Pevnost v tlaku:

Poloviny trámečku se zkouší kolmo na směr plnění na pevnost v tlaku pomocí stroje dle normy (Obr. 15).

Poloviny trámečků se vystředí bočními plochami zarážkou přístroje v rozmezí $\pm 0,5\text{mm}$ na destičkách zkušebního stroje, aby koncové plochy trámečku přesahovali přibližně o 10 mm destičky.

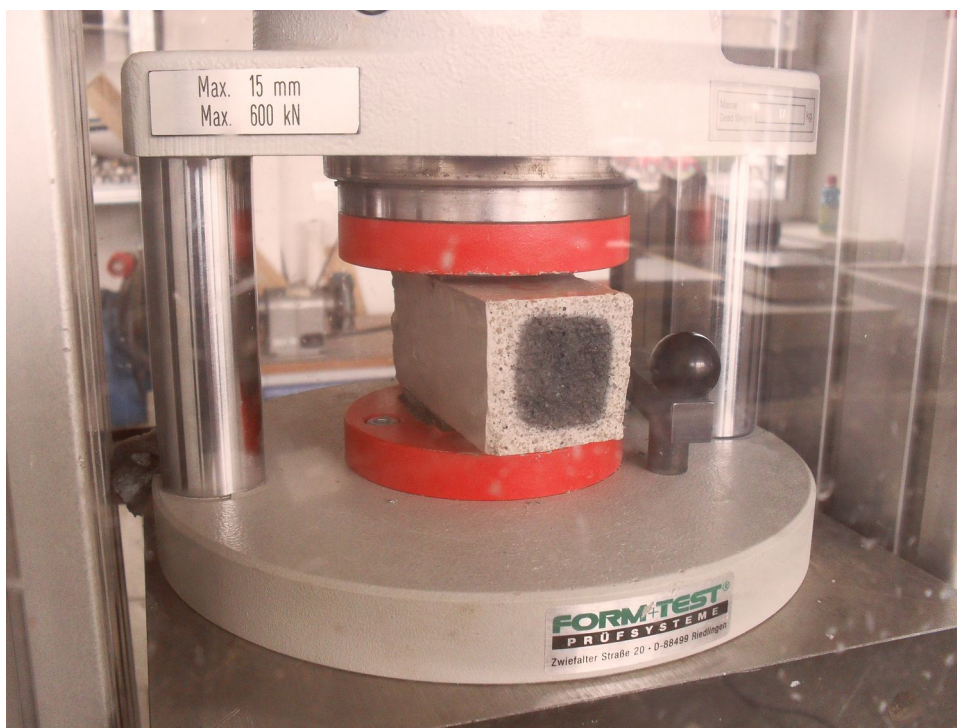
Zatížení se zvyšuje kontinuálně během celé doby zatěžování (2400 ± 200) N/s do porušení.

Pevnost v tlaku R_c se vypočte podle vzorce:

$$R_c = \frac{F_c}{a \cdot c} \quad \text{v N/mm}^2 \quad (2)$$

kde F_c je nejvyšší zatížení při porušení v kN

a.c vyjadřuje plochu na kterou zatížení působí v mm²



Obr. 15: Zkouška v tlaku.

5.3.2 Mrazuvzdornost

Dle normy ČSN 73 1322 ZMĚNA Z1 [7]

Jedná se o zkoušku střídavého zmrazování a rozmrazování vodou nasycených trámečků na určitý počet cyklů, který určí stupeň mrazuvzdornosti. V našem případě se jedná o stupeň mrazuvzdornosti po 100 cyklech s průběžným sledováním míry porušení po 25, 50 a 75 cyklech.

Vzorky: Zkušební tělesa jsou nevyztužené trámečky (40 x 40 x 160) mm. Uskladněné 1 den ve vlhkém prostředí a 27 dní ve vodě. Ke zkoušce se smí použít jen zkušební tělesa celá a neporušená, jejichž žádná průřezová plocha není oslabena o více než 1 %. U zkušebních těles se před nasycením

vodou a zmrazováním zjistí jejich rozměry a váha vypočítá se jejich objemová hmotnost.

Zkušební zařízení: Mrazicí prostor splňující požadavky dané výše uvedenou normou (Obr.16). (KD-20)



Obr. 16: Mrazicí zařízení pro určení mrazuvzdornosti KD-20.

Zkušební postup: Zmrazování a rozmrazování zkušebních těles probíhá v zmrazovacích cyklech, při kterých musí být teplota mrazicího prostředí v rozmezí -18 až -23 °C pro směsi vystavené mrazu pod -20 °C. Jeden zmrazovací cyklus se skládá ze 4 hodin zmrazování a 2 hodin rozmrazování. Při rozmrazování se zkušební tělesa nachází v prostředí, kde nejméně polovinu zmrazovací doby musí být dosaženo stanovené nejnižší teploty. Při rozmrazování se zkušební tělesa nachází ve vodě $+20$ °C teplé.

Po ukončení každé etapy, tedy 25 cyklů se vzorky kontrolují, a to jestli jejich narušení není více než 5 % úbytku hmotnosti.

Vyhodnocení:

- Zjištěné úbytky hmotnosti zkoušených zmrazovaných trámců v % hmotnosti.
- Pevnosti betonu v tahu za ohybu a zpravidla i pevnosti v tlaku zmrazovaných i porovnávacích vzorků.

Součinitel mrazuvzdornosti: Je poměr hodnoty aritmetického průměru pevnosti zmrazovaných trámů v tahu za ohybu k hodnotě aritmetického průměru pevnosti porovnávaných trámů v tahu za ohybu. Směs je mrazuvzdorná na provedený počet cyklů pokud je součinitel mrazuvzdornosti větší než 75 %.

Součinitel mrazuvzdornosti se vypočítá podle vzorce:

$$K_{M100} = \frac{\mu_{M100}}{\mu_p} \cdot 100 \quad \% \quad (3)$$

kde K_{M100} je součinitel mrazuvzdornosti po 100 cyklech v %

μ_{M100} je aritmetický průměr pevnosti zmrazovaných trámečků v tahu za ohybu MPa

μ_p je aritmetický průměr pevnosti porovnávaných trámečků v tahu za ohybu MPa

5.3.3 Odolnost povrchů proti působení chemických rozmrazovacích látek

Dle normy ČSN 73 1326 ZMĚNA Z1[8]

Jedná se o stanovení odolnosti povrchů směsí proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek za cyklického střídání kladných a záporných teplot.

Vzorky: Měření probíhá na jednom vzorku s neporušeným povrchem tvaru trámečku (40 x 40 x 160) mm pro zkoušení jemnozrnných směsí. Vyrobené zkušební vzorky byly 24 hodin uloženy ve vlhkém prostředí a 27 dní ve vodě.

Zkušební zařízení: Mrazicí prostor splňující požadavky dané výše uvedenou normou (Obr. 16). (KD-20) Jako základní chemická rozmrazovací látka je použit 3 % roztok chloridu sodného.

Zkušební postup: Vzorky se vloží do misky a vleje se roztok chemické rozmrazovací látky v takovém množství, aby vzorek byl ponořen (5 ± 1) mm. Pak se vzorky rozloží rovnoměrně po dně zkušebního prostoru přístroje.

Ve zkušebním prostoru se vzorky podrobí střídavému zmrazování a rozmrazování. Cyklus se sestává z chlazení na teplotu $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a její udržení po dobu 15 minut. Pak následuje ohřev na teplotu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na této teplotě se udržuje taktéž po dobu 15 minut. Tím končí 1 cyklus.

Po každém 25. cyklu se vzorky s miskou vyjmou za zkušebního prostoru. Vzorky se opatrně

vyjmou z misky a proudem vody ze stříčky se splaví uvolněné částice ze zkušební plochy. Usazené odpadlé částice se vysuší do konstantní hmotnosti. Hmotnost odpadu se zváží.

Odpady z jednotlivých cyklů se uschovají. Zkouška se ukončí buď dosažením počtu cyklů, nebo maximálním povoleným stupněm porušení

Vyhodnocení: Odolnost povrchů proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek je dána hmotností odpadu na jednotku plochy. Je možno hodnotit i vizuálně.

Vypočítá hmotnostní odpad na jednotku plochy podle vzorce:

$$\rho_a = \frac{\sum m}{A} \quad \text{v g/mm}^2 \quad (4)$$

kde	ρ_a	hodnota odpadu v g/mm ²
	m	hmotnost v g
	A	velikost zkušební plochy mm ²

5.3.4 Počátek a konec doby tuhnutí

Dle normy ČSN EN 196-3+A1 [16]

Jedná se o stanovení dob tuhnutí vnikáním jehly do kaše alkalicky aktivovaného systému, až je dosaženo určité předepsané hodnoty vniknutí zaznamenáváme čas počátku či konce tuhnutí.

Vzorky: Jako vzorky byly použity směsi alkalicky aktivovaných systémů, u nich bylo zaručeno, že měření času bylo zahájeno okamžitě po vnesení surovin do míchačky a určení nulového času. Míchačka byla ihned uvedena do provozu a dále bylo mícháno dle postupu uvedeném výše v kapitole 5.1.1. Kaše byla ihned bez nadměrného hutnění nebo otřesů naplněna do lehce olejem potřeného Vicatova prstence, umístěného na lehce naolejované podložní destičce. Přebytek se sejme pilovitým pohybem a povrch se uhladí.

Zkušební zařízení: Je manuální Vicatův přístroj (Obr. 17), jehož pohyblivá část musí mít hmotnost (300 ± 1) g, s jehlou (pro počátek doby tuhnutí) a s jehlou s nástavcem o průměru 5 mm (pro konec doby tuhnutí).



Obr. 17: Vicatův přístroj manuální Beton sytem.

Postup zkoušení:

Počátek doby tuhnutí - Vicatův přístroj s jehlou se před zkouškou nastaví do nulové polohy. Za tímto účelem se spustí jehla na podložní destičku a ukazatel se nastaví na nulovou rysku stupnice. Nato se jehla zvedne do horní výchozí polohy.

Naplněný prstenec se uloží do vlhkého prostředí po celý čas zkoušení. Po vhodné době se podložka s prstencem postaví pod jehlu Vicatova přístroje. Jehla se pak posune dolů tak, aby byla ve styku s povrchem cementové kaše. Nato se pohyblivá část uvolní a jehla se nechá vnikat svisle do středu kaše. Odečet stupnice se provede po ustálení jehly nebo 30 sekund po jejím uvolnění.

Vpichy jehly se opakují na stejné kaši v prstenci na různých místech ve vhodných časových intervalech, např. po 10 minutách. Mezi vpichy se jehla ihned očistí. Prstenec se uchovává pro stanovení konce tuhnutí

Zaznamená se doba, která uplyne od nulového času do doby, kdy vzdálenost mezi jehlou a podložní destičkou je (6 ± 3) mm, jako počátek tuhnutí s přesností na 5 minut.

Konec doby tuhnutí - Naplněný Vicatův prstenec použitý pro stanovení počátku doby tuhnutí se na podložní destičce obrátí tak, aby vpichy pro stanovení konce doby tuhnutí mohly být prováděny na straně původně přilehlé k podložní destičce. Prstenec se po čas zkoušení uchovává ve vlhkém prostředí. Po vhodné době se podložka s prstencem postaví pod jehlu Vicatova přístroje. Jehla

s nástavcem se pak posune dolů tak, aby byla ve styku s povrchem cementové kaše. Nato se pohyblivá část uvolní a jehla se nechá vnikat svisle do středu kaše. Odečet stupnice se provede po ustálení jehly nebo 30 sekund po jejím uvolnění.

Vpichy jehly se opakují na stejné kaši v prstenci na různých místech ve vhodných časových intervalech, např. po 30 minutách. Mezi vpichy se jehla ihned očistí.

Zaznamená se doba, která uplyne od nulového času do doby, kdy jehla s nástavcem poprvé vnikla jen 0,5 mm do zkoušené kaše. Konec tuhnutí je pak doba, kdy kruhový nástavec jehly poprvé zanechá kružnicový obrys na povrchu tvrdnoucí kaše. Potvrzení konce tuhnutí se ověřuje ještě dvěma dalšími vpichy.

Zaznamená se doba která uplyne od nulového času do doby, kdy jehla poprvé vnikala 0,5mm do kaše, jako konec doby tuhnutí s přesností na 15 minut.

5.3.5 Konzistence

Dle normy ČSN EN 1015-3 ZMĚNA A2 [17]

Jedná se o stanovení konzistence charakterizovanou hodnotou rozlití pro čerstvě namíchanou směs. Hodnota rozlití se stanoví změřením průměru rozlitého zkušební vzorku umístěného na předepsané desce střešacího stolku, v kuželu po 15 svislých pádech.

Vzorky: Je použito směsí míchaných dle postupu uvedeném výše v kapitole 5.1.1. Které byly okamžitě po domíchání zkoušeny.

Zkušební zařízení: Střešací stolek popsáný v příloze A normy (Obr. 18.), Kovový kužel z mosazi, vysoký $(60 \pm 0,5)$ mm o vnitřním průměru $(100 \pm 0,5)$ mm ve spodní části o průměru $(70 \pm 0,5)$ mm v horní části. Dusadlo o průměru asi 40 mm a délce asi 200 mm. Měřidlo s přesností na 1 mm.

Postup zkoušení: Před každou zkouškou je zkušební kužel očištěn a navlhčen. Kovový kužel se umístí do středu desky střešacího stolku a naplní se maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva se rozprostře 10 lehkými údery dusadlem. Během plnění se kužel přitlačuje k podložce.

Přebytečná malta se setře a volná plocha desky se očistí. Asi po 15 sekundách se kovový kužel lehce zvedne kolmo vzhůru a malta se rozlije 15 nárazy s konstantní frekvencí zdvihu jeden za sekundu.

Průměr koláče směsi se změří ve dvou na sebe kolmých směrech pomocí měřidla. Výsledek se udává jako průměr 2 hodnot s přesností na 1 mm.



Obr. 18: Stolek pro zkoušení konzistence Beton systém RS - 15

5.3.6 Nenormové postupy pro získání orientačních informací

Jedná se o ne normové postupy určené pro budoucí práci s materiálem na podobné či stejné bázi. Slouží zejména pro popsání průvodních vlastností důležitých zejména pro praktické použití, a pro přizpůsobení nakládání s materiálem při práci či při případném opakování pokusů. Mohou sloužit pro zjednodušení budoucí práce a popsání některých vlastností.

Doba zpracovatelnosti - jedná se o dobu od smíchání vstupních surovin po první známky tuhnutí směsi. Jedná se o orientační dobu po kterou se dá s materiálem pracovat aniž by nastala zásadní změna jeho reologie. Vhodné zejména pro určení počtu a časové náročnosti zkoušek pro jednotlivé čerstvé směsi, za předpokladu zpracování na vzorky a zkoušení konečných vlastností.

Odvozeno při práci s materiálem, uváděno v intervalu (5 ± 5) minut, jedná se o orientační hodnotu.

Minimální doba odformování - jedná se o dobu od smíchání vstupních surovin přes uložení do formy, až po nejkratší dobu vyjmutí z formy (odformování) bez poškození vzorků. Tato vlastnost je velmi důležitá pro využití v praxi a velice úzce souvisí s efektivitou výroby možné konečné

aplikace. Zkoušeno v průběhu práce empiricky, uváděno v hodinách, jedná se o orientační hodnotu.

Vizuální hodnocení povrchů - Jedná se o hodnocení z hlediska barevnosti, počtu pórů, vzniku případných trhlin či nedokonalostí vyplnění formy, poškození při odformování po 24 hodinách. Je závislé na konzistenci a dalších faktorech, proto je velmi orientační a do jisté míry subjektivní. Jedná se zejména o srovnání vyhodnocovaných směsí na vzorcích tvaru rozet. Důležité zejména z praktického hlediska, ukazuje nám vhodnost v použití pro konkrétní praktickou aplikaci pohledových prvků a také souvisí s jejich možnou náchylností k narušení přírodními vlivy.

6. Zkušební část

6.1 Fáze I - vliv aktivátorů na počáteční vlastnosti

Cílem této fáze je dle směsí podle metodik popsaných v kapitole 5.2. připravit vzorky, zhodnotit jejich vhodnost pro práci v dalších fázích, zejména dle jejich fyzikálně mechanických vlastností či bezpečnosti práce, a to jak na čerstvé směsi (konzistence, doba zpracovatelnosti a odformování), tak na tuhých tělesech (pevnost v tahu za ohybu a tlaku po 7 dnech, objemová hmotnost). V této fázi jako zkušební tělesa rozumíme trámečky rozměrů (40 x 40 x 160) mm.

6.1.1 Určení počátečních směsí

V Tab. 11 a 12 jsou popsány všechny testované směsi z první fáze a jsou zde uvedeny konečné poměry míchaných směsí. Také metodika podle které k nim bylo přistupováno dle kapitoly 5.2. Všechny byly míchány dle postupu popsaného v kapitole 5.1.1

Tab. 11: Složení vstupních směsí část 1.

Surovina	Jed-notka	DVS3	DVS2		NaVS3,7		NaVS2,6		NaVS1,5		MKS		NaLiVS	
Typ směsi		1,2	1	2	1,2	1	2	1	2	1	2	3		
Struska	g	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	350	
Písek	g	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1050	
Voda	g	45	120	45	45	105	45	115	45	180	45	0		
Aktivátor	ml/g	176	78	176	176	127	176	83	176	88	176	560		

Tab. 12: Složení vstupních směsí část 2.

Surovina	Jednot- ka	LiVS		DESIL AL		Tosil A		Bindzil 1440		Bindzil 1430 MSLV	
Typ směsi	Metoda	2	3	2	3	2	4	2	4	2	4
Struska	g	450	350	450	450	450	350	450	400	450	350
Písek	g	1350	1050	1350	1350	1350	1050	1350	1200	1350	1050
Voda	g	45	0	45	105	45	510	45	260	45	510
Aktivátor	ml/g	176	560	176	135	176	140	176	160	176	140

6.1.2 Vlastnosti čerstvých směsí a jejich vyhodnocení

Po zamíchání byly u směsí stanoveny jejich vlastnosti v čerstvém stavu (Tab. 13 a 14). Konzistence, která by se měla ideálně pohybovat kolem (130 ± 10) mm. Celistvost, jež zohledňuje schopnost směsi držet pohromadě, bylo tedy hodnoceno, jestli se směs segreguje - odděluje plnivo od pojiva, rozpadá se vlivem nedostatečného množství záměsové vody, popřípadě jestli se směs srazila, tedy vytvořila hrudky (obr. 19).



a) Celistvý



b) Rozpad vlivem nedostatečného množství záměsové vody.



c) Rozpad vlivem sražení směsi



d) Segregace plniva

Obr. 19: Popis celistvosti směsí.

Také byl brán ohled na bezpečnost při práci, a to zejména z toho důvodu, že některé aktivátory uvolňovaly štiplavý nepříjemný zápach, čímž by mohly ohrožovat zdraví lidí, kteří by s takovouto směsí museli pracovat. Jako doplňková vlastnost je v Tab. 13 a 14 uvedena doporučená rychlost zpracování, což je doba od zamíchání po kterou lze se směsí pohodlně pracovat, aniž by se nadměrně přichytávala či měnila svou reologii. Nakonec byla zhodnocena vhodnost pro výrobu vzorku závislá na předchozích vlastnostech.

Tab. 13: Vlastnosti čerstvých směsí část 1.

Surovina	Jed-notka	DVS3	DVS2		NaVS3,7	NaVS2,6		NaVS1,5		MKS	NaLiVS	
Typ směsi		1,2	1	2	1,2	1	2	1	2	1	2	3
Konzistence	mm	133	138	160	128	130	suchá	126	suchá	123	136	tekutá
Dop. doba zpracování	min	15	20	20	20	20	0	20	0	15	10	<30
Celistvost směsi		celistvý	sražený	celistvý	celistvý	celistvý	rozpad	celistvý	rozpad	celistvý	celistvý	segragace
Poznámka												
Vhodnost pro výrobu vzorků		Ano	Ne	Ano podmínečně	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano podmínečně

Tab. 14: Vlastnosti čerstvých směsí část 2.

Surovina	Jed-notka	LiVS		DESIL AL		Tosil A		Bindzil 1440		Bindzil 1430 MSLV	
Typ směsi		2	3	2	3	2	4	2	4	2	4
Konzistence	mm	157	tekutá	166	125	suchá	tekutá	suchá	tekutá	suchá	tekutá
Dop. doba zpracování	min	10	<30	20	15	0	<30	0	<30	0	<30
Celistvost směsi		celistvý	segragace	celistvý	celistvý	sražený	segragace	sražený	segragace	sražený	segragace
Poznámka				Znatelné ztekucení	Znatelné ztekucení	Velmi silný zápach	Mírný zápach	Velmi silný zápach	Mírný zápach	Velmi silný zápach	Mírný zápach
Vhodnost pro výrobu vzorků		Ano	Ano podmínečně	Ano podmínečně	Ano	Ne	Ano podmínečně	Ne	Ano podmínečně	Ne	Ano podmínečně

Směsi s nevhodnými vlastnostmi pro výrobu vzorků byly vyloučeny a směsi vhodné a podmíněně vhodné byly dále zkoumány a byly stanoveny vlastnosti u zatvrdlých těles. U vyloučených směsí se jednalo zejména o jejich špatnou reakci se struskou, tedy buď jejich sražení (Tosil A, Bindzil 1440, Bindzil 1430 MSLV) nebo nebezpečí zdravotní závadnosti v důsledku uvolňování nadměrného množství nepříjemného štiplavého zápachu.

6.1.3 Konečné vlastnosti těles a jejich vyhodnocení

Mezi stanovované vlastnosti v této fázi práce patří především pevnostní charakteristiky po sedmi dnech. Tyto byly stanoveny jako nejvhodnější pro počáteční srovnání neznámého chování směsí. Byly měřeny pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku a dále jako doplňkové informace byly zjišťovány objemové hmotnosti těles a orientační doba odformování. Nakonec byly tyto vlastnosti zhodnoceny pro vhodnost dalšího použití v práci (Tab. 15 a 16).

Tab. 15: Vlastnosti tuhých směsí část 1.

Název	Jednotka	DVS3	DVS2	NaVS3,7	NaVS2,6	NaVS1,5	MKS
Typ směsi	Metoda	1,2	2	1,2	1	1	1
Doba odformování	hod	48-96	24	48-96	24	24	24
Objemová hmotnost	Kg/m ³	2220	2330	2190	2300	2300	2300
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	0,3	3,9	0,2	2,1	4,5	6,3
Pevnost v tlaku	MPa	0,6	34,7	0,7	7,6	24,3	70,8
Vhodnost pro II fázi	Ano/Ne	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano

Tab. 16: Vlastnosti tuhých směsí část 2.

Název	Jednotka	NaLiVS		LiVS		DESIL AL		Tosil A	Bindzil 1440	Bindzil 1430 MSLV
Typ směsi	Metoda	2	3	2	3	2	3	4	4	4
Doba odformování	hod	24-48	144-168	24-48	144-168	24	24	N	N	N
Objemová hmotnost	Kg/m ³	2220	2170	2240	2120	2280	2300	N	N	N
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	0,5	0,3	1,2	1,9	4,4	6,9	N	N	N
Pevnost v tlaku	MPa	1,2	0,2	11,5	5,8	39,8	49,2	N	N	N
Vhodnost pro II fázi	Ano/Ne	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne

Kde N znamená, že těleso nebylo po 7 dnech dostatečně pevné, aby mohlo být zkoušeno na dané vlastnosti.

Z hodnot uvedených v tabulkách Tab.15 a Tab. 16 byl proveden závěrečný výběr směsí pro fázi II. Tento výběr byl závislý zejména na pevnostních charakteristikách, ale také byla zohledněna doba odformování, která přímo koresponduje s nárůstem pevností těles. U některých těles dokonce po sedmi dnech zrání ve formě nenastal konec tuhnutí. Tato tělesa tedy nebyla vhodná pro další práci a příslušné aktivátory již do dalších fází nevstupují (Obr. 20). Jedná se o Bindzil 1440, Bindzil 1430 MSLV a Tosil A.



a) Bindzil 1440



b) Tosil A

Obr. 20: Ukázka vybraných nevhodných těles po 7 dnech.

Také byly vyloučeny směsi na bázi aktivátorů, které měly příliš dlouhou dobu tuhnutí charakterizovanou dobou odformování a nízké pevnosti po 7 dnech. K těmto se řadí směsi na bázi draselného vodního skla (obr. 21) a sodného vodního skla (obr.22) se silikátovým modulem 3,7, jejichž složení bylo typu 1, 2 dle kapitoly 5.2.



a) Vzhled trámců



b) Lom trámce

Obr. 21: Vzhled těles na bázi draselného vodního skla se silikátovým modulem 3 typ 1,2.



a) Vzhled trámců



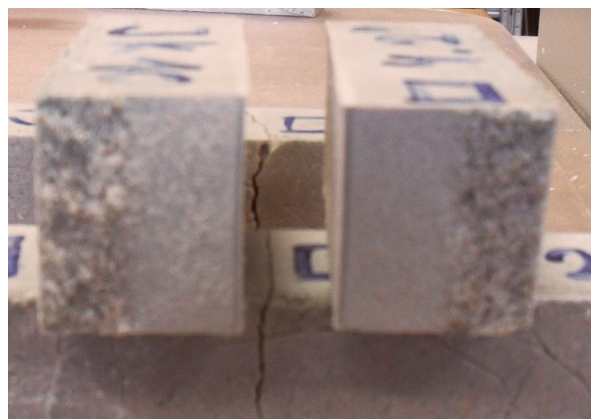
b) Lom trámce

Obr. 22: Vzhled těles na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 3 typ 1,2.

Dále byly vyloučeny směsi na bázi aktivátorů, které měly příliš dlouhou dobu tuhnutí, charakterizovanou dobou odformování, nízké pevnosti po 7 dnech a proběhla u nich segregace. Také jejich zjevné objemové změny nebyly vyhovující, kdy se jejich výška snížila průměrně asi o 7 mm. Jednalo se o vzorky na bázi sodnolithného (Obr. 23) a lithného (Obr. 24) vodního skla, tyto směsi byly složením typu 3.

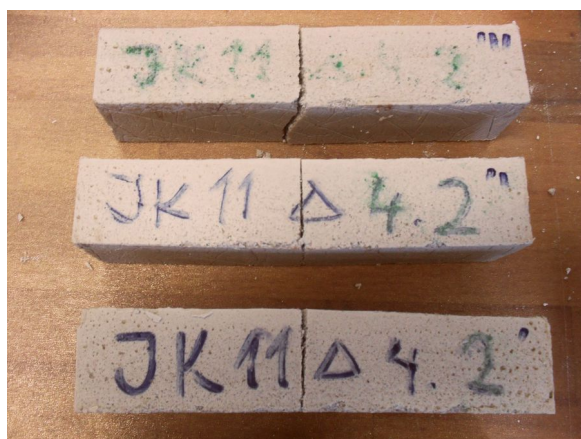


a) Vzhled trámečků



b) Lom trámečků

Obr. 23: Vzhled těles na bázi sodnolithného vodního skla typ 3.



a) Vzhled trámečků



b) Lom trámečků

Obr. 24: Vzhled těles na bázi lithného vodního skla typ 3.

Z důvodu velmi podobných výsledků byla pro další práce vybrána pouze jedna z receptur na bázi aktivátoru DESIL AL. Obě receptury vyhovují kritériím pro výběr do fáze II, ale dále je pokračováno pouze s jednou směsí, a to se směsí s lepšími parametry, což je směs typu 3. Směs typu 2 neměla tak vhodnou konzistenci, ani pevnostní charakteristiky (Obr. 25).



a) Vzhled trámečků



b) Lom trámečků

Obr. 25: Vzhled těles na bázi aktivátoru DESIL AL typ 2.

6.1.4 Zhodnocení vlastností směsí z fáze I

Laboratorními zkouškami bylo ověřeno 21 druhů směsí na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky s celkově 12 aktivátory.

Obecně bylo zjištěno, že nižším silikátovým modulem, tedy vyšším podílem alkálií ve směsi docílíme vyšších pevností a celkově lepších vlastností konečných produktů, kde rozhraní použitelnosti se pohybuje pod silikátovým modulem 3 u draselných i sodných vodních skel.

Z výsledků také plyne, že sodnolithné a zejména lithné vodní sklo dosahuje lepších výsledků i při vyšším silikátovém modulu, tedy modulu 3, než vodní skla draselná či sodná. Tuhnutí a tvrdnutí jsou však o něco pomalejší než u jiných směsí.

Také bylo zjištěno, že roztoky koloidních oxidů křemíku (Tosily a Bindzily) nejsou vhodné pro použití s jemně mletou granulovanou struskou pro alkalicky aktivované systémy, protože uvolňují silný štiplavý zápach, který značným způsobem znepříjemňuje práci a může být potencionálně nebezpečný, což se neslučuje se záměrem environmentální příznivosti alkalicky aktivovaných systémů. Vzhledem k nízkému obsahu alkalických oxidů se dá předpokládat, že ani při velkém množství aktivátoru alkalická reakce nenastala. Vzorky nejevily známky nárůstu pevností, a to ani po jednom týdnu, a proto byly z dalších zkoušek vyloučeny.

Směsi, které nebyly vyřazeny v kapitolách 6.1.2 a 6.1.3 jsou použity ve fázi dvě a pro větší přehlednost jejich měřených vlastností získaných ve Fázi I jsou uvedeny v Tab. 17.

Tab. 17: *Směsi s vhodnými vlastnostmi pro fázi II.*

Popis	Jednotka	DVS2	NaVS2,6	NaVS1,5	MKS	NaLiVS	LiVS	DESIL AL
Typ směsi	Metoda	2	1	1	1	2	2	3
Struska	g	450	450	450	450	450	450	450
Písek	g	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Voda	g	45	105	115	180	45	45	105
Aktivátor	ml/g	176	127	83	88	176	176	135
Konzistence	mm	160	130	126	123	136	157	125
Dop. doba zpracování	min	20	20	20	15	10	10	15
Celistvost směsi	-	celistvý	celistvý	celistvý	celistvý	celistvý	celistvý	celistvý
Poznámka	-							ztekucení
Doba odformování	hod	24	24	24	12-24	24-48	24-48	12-24
Objemová hmotnost	Kg/m ³	2330	2300	2300	2300	2220	2240	2300
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	3,9	2,1	4,5	6,3	0,5	1,2	6,9
Pevnost v tlaku	MPa	34,7	7,6	24,3	70,8	1,2	11,5	49,2

Na základě výsledků můžeme tvrdit, že 6 ze 7 vybraných směsí odpovídá stanoveným požadavkům, které byly kritérii pro další práci a tyto materiály by mohly najít aplikaci v praxi.

Nejlepších parametrů dosáhla směs na bázi bezvodého metakřemičitanu, u kterého jsou náběhy pevností velmi strmé a dále bude sledována možnost jejich odformování, kdy by tento materiál mohl projevit svůj potenciál. Tato směs může mít však omezenou dobu zpracování vzhledem k rychlé reakci a také se zdá, že běžný minerální olej není vhodnou separační vrstvou pro snadné odformování.

Velice dobře se po všech stránkách také jeví směs s aktivátorem DESIL AL, který dosáhl druhých nejvyšších pevností, čerstvá směs měla velice dobrou reologii a ztekucení. Také byl velice „přívětivý“ při údržbě zařízení, tedy není tak agresivní a netvoří špatně odstranitelné povlaky.

Dalším velmi vhodným aktivátorem bylo draselné vodní sklo se silikátovým modulem 2. Mělo asi poloviční pevnosti jako metakřemičitan, ale jeho doba zpracovatelnosti je delší. Oproti sodným vodním sklům se vyznačuje větší pevností.

Sodná vodní skla ve směsích po sedmi dnech nedosáhla velkých pevností, což ukazuje na pozvolný nárůst pevností, kdy silikátový modul 1,5 dosáhl necelých 25 MPa po sedmi dnech a silikátový modul 2,6 necelých 8 MPa.

Směs s lithným vodním sklem silikátový modul 3 dosáhla pevností okolo 11,5 MPa v tlaku, ale byl to jediný aktivátor, který s tak vysokým silikátovým modulem dosáhl lepších výsledků. Jeho nevýhodou je velká přilnavost materiálu, téměř hned po zpracování, především na kovech, které se pro míchání používají jak v laboratořích tak v praxi. Jeho zpracovatelnost je nejkratší, a proto je práce s ním nejnáročnější.

Poslední směs, kterou jsem vybral po dohodě s vedoucí práce byla směs se sodnolithným vodním sklem, které mělo velice malou pevnost a doba odformování byla minimálně na hraně 24 hodin. Předpokládáme však vzhledem k nízkému podílu alkálií náběh pevností v delším časovém horizontu. Jeho zpracovatelnost se svými špatnými vlastnostmi blíží směsím s lithným vodním sklem. Je náročné na rychlost jeho zpracování a na údržbu zejména kovových materiálů.

6.2. Fáze II- Konečné vlastnosti kompozitů

Cílem druhé fáze je u vybraných receptur aplikovat zkoušky běžně prováděné na obdobných materiálech, tedy zejména na maltách či jemnozrnných betonech. Jako základní zkoušky pro tuto fázi byly zvoleny zkoušky v tahu a tlaku jak určuje norma po 1, 7 a 28 dnech. Kdy hodnoty po sedmi dnech již byly měřeny v první fázi. Dále zkoušení materiálu na mrazuvzdornost a stanovení odolnosti povrchu proti působení chemických rozmrazovacích látek.

6.2.1 Pevnosti v tlaku a tahu za ohybu

Pro pevnosti po 1 dni byly připravené směsi ve formách uloženy na 24 hodin do vlhkostní skříně, následně byly odformovány, změřeny jejich rozměry a hmotnost, určena průměrná objemová hmotnost ztvrdlé směsi, poté byla tělesa zkoušena na pevnost v tahu ohybem a v tlaku (Tab. 18).

Tab. 18: Pevnosti a objemová hmotnost po 1 dni.

Pevnosti a objemová hmotnost po 1 dni	Jednotky	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Objemová hmotnost	kg/m ³	2280	2250	2280	2270	2260	2300	2300
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	2,1	1,1	0,5	0,4	1,4	2,9	4,78
Pevnost v tlaku	MPa	27	5,4	13	1,2	9,3	18	37

Pro pevnosti po 7 dnech byly použity pevnosti z I fáze. V tomto měření byly připravené směsi ve formách uloženy na 24 hodin do vlhkostní skříně, následně byly odformovány a zbytek času uloženy ve vodní lázni. Po uplynutí dané doby byly změřeny jejich rozměry a hmotnost, určena průměrná objemová hmotnost ztvrdlé směsi, poté byla tělesa zkoušena na pevnost v tahu ohybem a v tlaku (Tab. 19).

Tab. 19: Pevnosti a objemová hmotnost po 7 dnech.

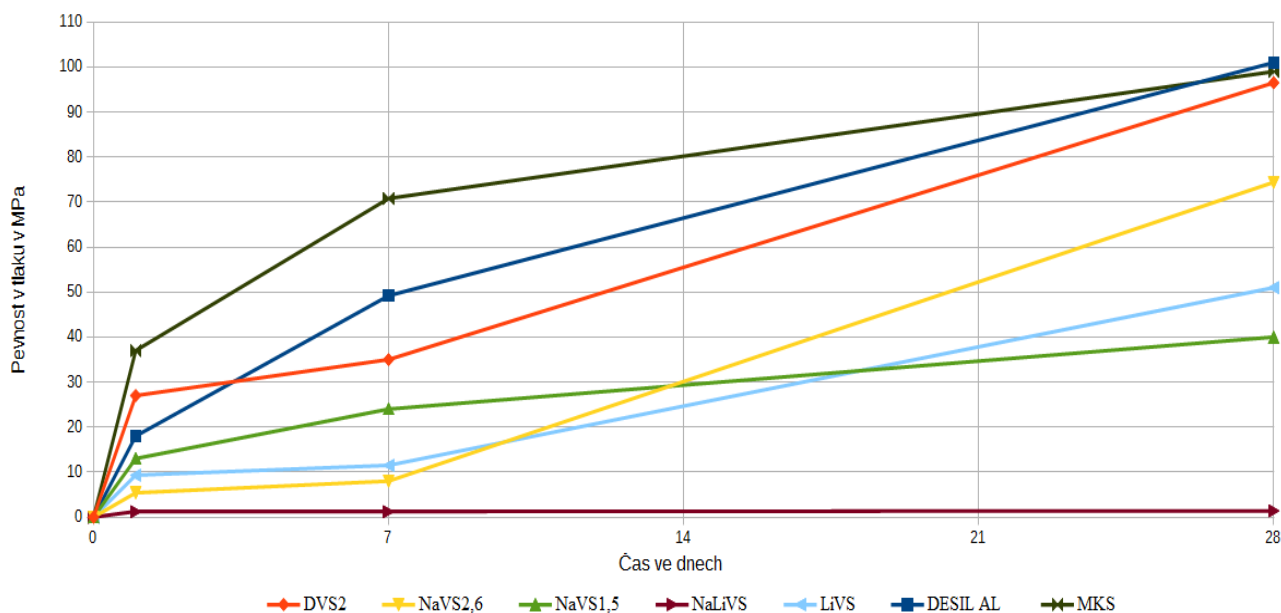
Pevnosti a objemová hmotnost po 7 dnech	Jednotky	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Objemová hmotnost	kg/m ³	2330	2300	2300	2220	2240	2300	2300
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	3,9	2,1	4,5	0,5	1,8	6,9	6,28
Pevnost v tlaku	MPa	35	8	24	1,2	11,5	49,2	70,8

Pro pevnosti po 28 dnech byly připravené směsi ve formách uloženy na 24 hodin do vlhkostní skříně, následně byly odformovány a zbytek času uloženy ve vodní lázni. Po uplynutí dané doby byly změřeny jejich rozměry a hmotnost, určena průměrná objemová hmotnost ztvrdlé směsi, poté byla tělesa zkoušena na pevnost v tahu ohybem a v tlaku (Tab. 20).

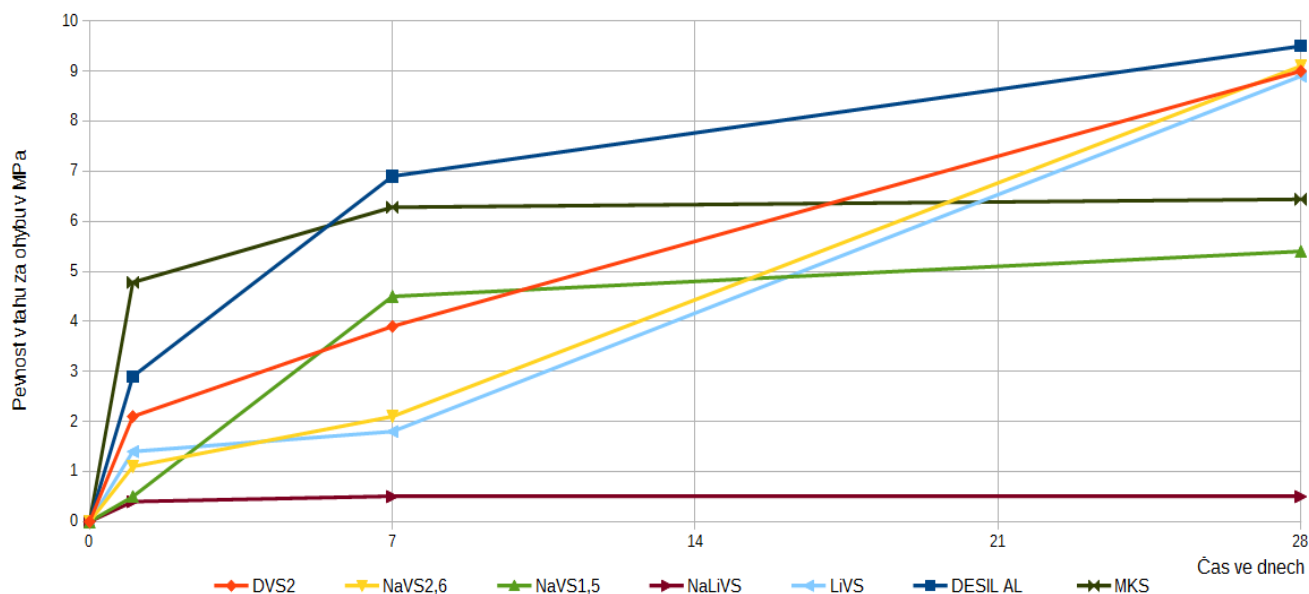
Tab. 20: Pevnosti a objemová hmotnost po 28 dnech.

Pevnosti a objemová hmotnost po 28 dnech	Jednotky	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Objemová hmotnost	kg/m ³	2300	2300	2300	2250	2250	2300	2300
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	9	9,1	5,4	0,5	8,9	9,5	6,44
Pevnost v tlaku	MPa	96,5	74,4	40	1,4	51	101	99

Z naměřených pevností lze graficky vyjádřit jejich závislost na čase, tedy nárůst pevnosti v tlaku (Obr. 26) či tahu za ohybu v čase (Obr. 27). Lze sledovat jejich strmost v určitých fázích, a tak mít představu o formování struktur jednotlivých alkalicky aktivovaných systémů.



Obr. 26: Grafické znázornění vývoje pevností těles v tlaku v závislosti na čase.



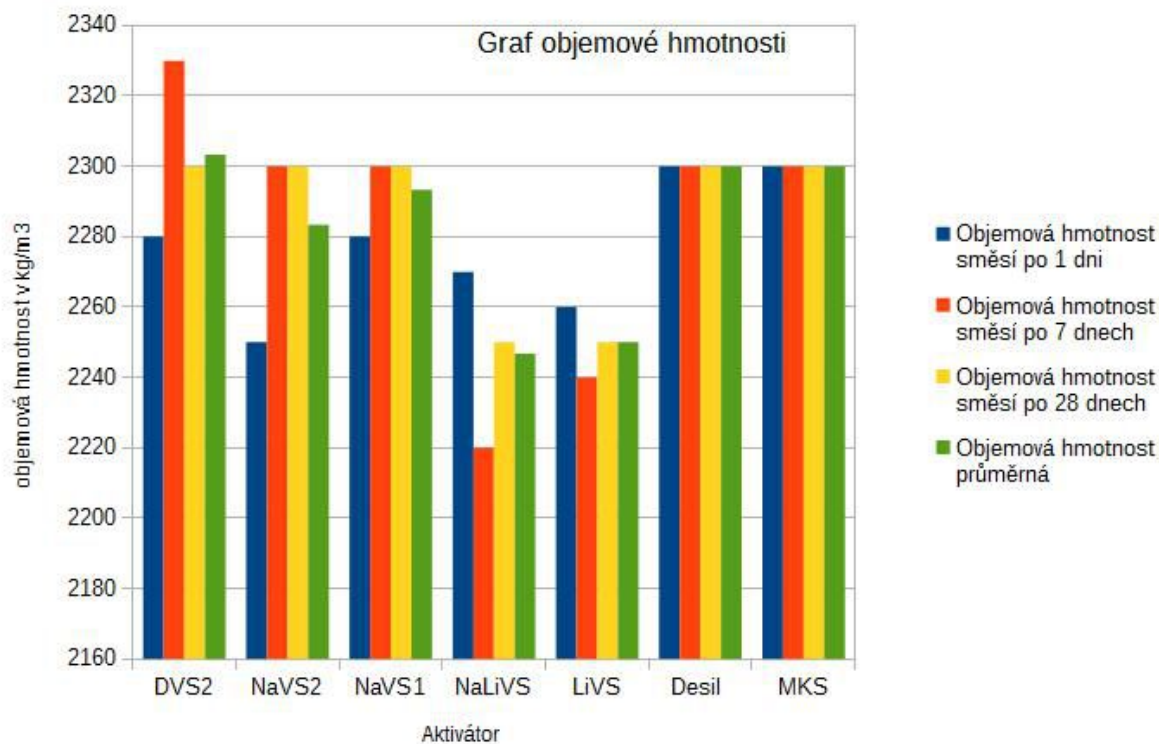
Obr. 27: Grafické znázornění vývoje pevností těles v tahu za ohybu v závislosti na čase.

Z grafů lze usoudit, že nejrychlejší nárůst pevností má metakřemičitan, a to zejména do 1 dne stáří vzorků. Také můžeme sledovat, že Desil Al a sodné vodní sklo silikátového modulu 1,5 mají podobné průběhy nárůstů pevností s tím rozdílem, že Desil AL má přibližně o třetinu větší pevnosti jak v tlaku tak v tahu. Další zajímavou křivkou je křivka Draselného vodního skla se silikátovým modulem 2, které téměř kontinuálně nabírá pevnost po celý sledovaný čas.

Dle grafu pro sodnolitné vodní sklo lze usoudit, že tvrdnutí těchto těles nenastalo a reakce,

kdy mají vytvrzovat polymerizací makromolekuly alkalicky aktivovaného systému neproběhly.

Objemová hmotnost má v tomto případě pouze orientační charakter, ale je zajímavé sledovat jak moc se v jednotlivých měřeních liší a u kterých kompozitů zůstává stejná a u kterých se výrazně mění. Hodnoty do grafu byly dosazeny z výše uvedených tabulek (Tab.18 - 20), ve kterých jsou zaokrouhleny na nejbližších 10kg/m^3 (Obr. 28).



Obr. 28: Grafické znázornění objemové hmotnosti u jednotlivých vzorků.

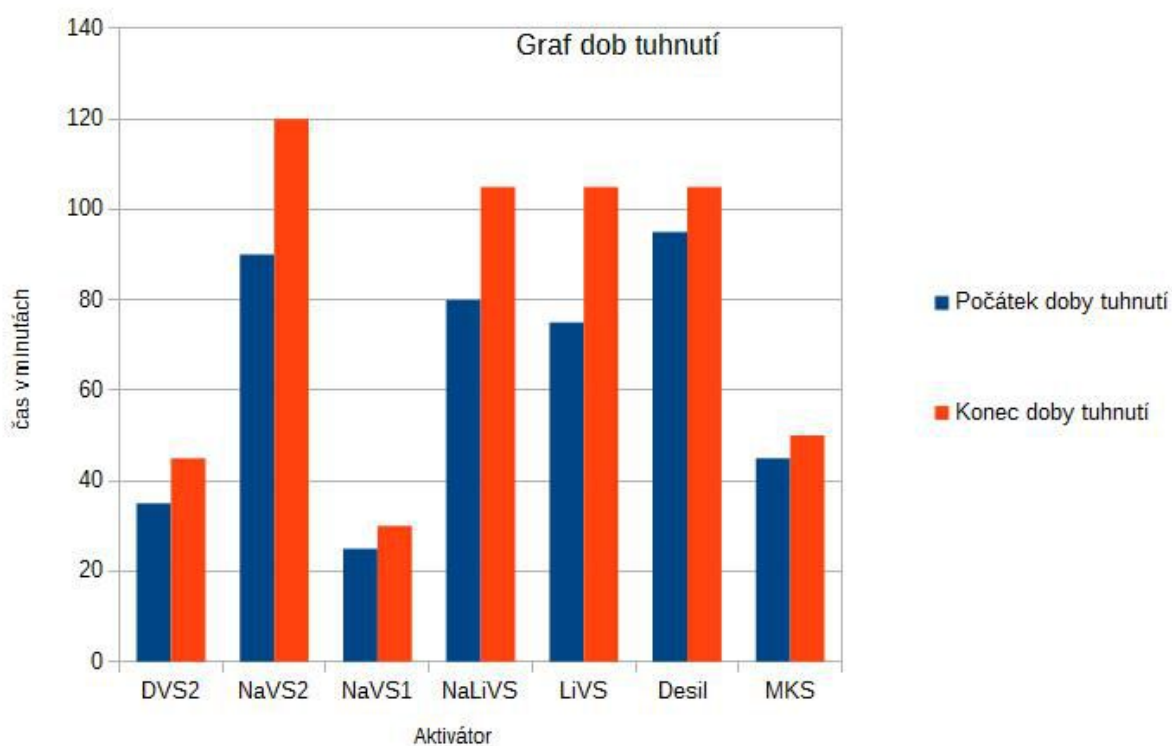
Dle grafu na Obr. 28 lze říci, že nejmenší rozdíly v objemových hmotnostech v závislosti na době zrání mají vzorky s aktivátory Desil AL a metakřemičitanem sodným, a to na hranici 2300 kg/m^3 . Největší rozptyly zaznamenáváme u vzorků s obsahem draselného vodního skla silikátový modul 2 a také u lithného a sodnolithného vodního skla, která se také vyznačují nižší objemovou hmotností než ostatní vzorky, v rozmezí $2220 - 2260\text{ kg/m}^3$. Většina vzorků se pohybuje v rozmezí $2280 - 2300\text{ kg/m}^3$.

6.2.2 Počátek a konec tuhnutí

Počátek a konec tuhnutí byl stanoven dle metodiky popsané v kapitole 5.3.4. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 21 a jejich grafické znázornění na Obr. 29.

Tab. 21: Počátek a konec doby tuhnutí

Aktivátor	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Označení	DVS2	NaVS2,6	NaVS1,5	NaLiVS	LiVS	Desil	MKS
Počátek doby tuhnutí	35	90	25	80	75	95	45
Konec doby tuhnutí	45	120	30	105	105	105	50



Obr. 29 :Grafické znázornění dob tuhnutí.

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejkratší dobu tuhnutí má kompozit na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 1,5. Naopak nejdelší doby tuhnutí vykazuje systém na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 2,6. Také lze sledovat u daných směsí, že u systémů, které mají rychlé nárůsty pevností v čase, je doba od počátku do konce tuhnutí velmi

malá, často v rozmezí 5 – 10 minut. Zatímco u systému s pomaleji narůstající pevností v čase je i doba tuhnutí delší, nejčastěji 10 - 20 minut.

Také je zajímavé si povšimnout srovnání počátku dob tuhnutí, které přímo ovlivňují dobu zpracovatelnosti v praxi. Tedy pro uvedení do praxe by bylo všeobecně nejlepší mít dobu na zpracování delší. V tomto směru se velice dobře nabízí vlastnosti aktivátoru Desil AL.

6.2.3 Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost byla zkoušena dle postupů v popsanych v kapitole 5.3.2 na zkušebních vzorcích po 28 dnech zrání. Kontrola vzorků probíhala pravidelně po 25 cyklech a byla doplněna o nepravidelné kontroly zejména v počátečních 25 cyklech, za účelem sledování možného rozpadu vzorků. Pokud byly vzorky poškozeny, tak při nejbližším rozmrazovacím období byly odstraněny. Po 100 cyklech se vzorky, u kterých nebylo zaznamenáno poškození, vyjmulý z mrazicího prostoru. Dvě hodiny byly ve vodní lázni laboratorního prostředí. Dále byly zkoušeny na tah a tlak. Výsledky, referenční hodnoty i vypočtený součinitel mrazuvzdornosti jsou uvedeny v Tab. 22.

Tab. 22: Mrazuvzdornost po 100 cyklech.

Mrazuvzdornost po 100 cyklech	Jednotky	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Rozpad vzorků	cyklus	x	60	50	11	x	x	x
Referenční tah	MPa	9	9,1	5,4	0,5	8,9	9,5	6,44
Referenční tlak	MPa	96,5	74,4	40	1,4	51	101	99
Tah za ohybu	MPa	7,15	N	N	N	7,93	7,15	6,4
Tlak	MPa	105,5	N	N	N	65	102	85,5
Součinitel tah	-	0,79	N	N	N	0,89	0,75	0,99
Součinitel tlak	-	1,00	N	N	N	1,00	1,00	0,86

Kde: x znamená, že poškození vzorku nenastalo.

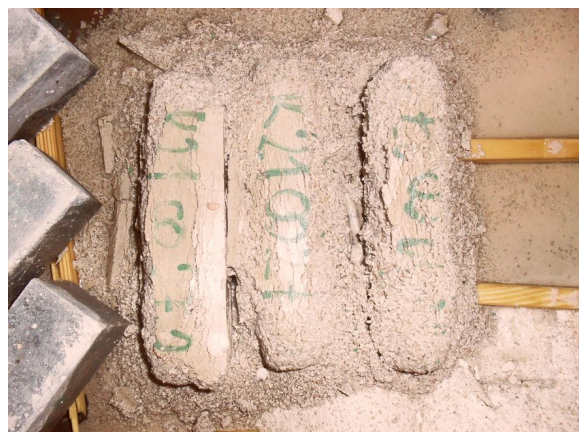
N znamená, že hodnota nemohla být změřena, protože vzorek byl nadměrně poškozen.

Z hodnot uvedených v Tab. 22 lze také prohlásit, že všechny vzorky, které bez poškození odolaly 100 zmrazovacím cyklům splnily požadavek na součinitel mrazuvzdornosti větší než 75 %, a proto je lze prohlásit za mrazuvzdorné.

Dále také z tabulky vyplývá, že některé vzorky neobstály a byly narušeny (Obr. 30), a to konkrétně vzorky aktivované sodnolithným vodním sklem již po 11 cyklech (a), nejsou tedy mrazuvzdorná. Vzorky se sodným vodním sklem se silikátovým modulem 1 neobstály po 50 cyklech (b), u nichž je možná mrazuvzdornost do 25 cyklů a sodným vodním sklem se silikátovým modulem 2 s rozpadem po 60 cyklech (c), u nichž je možná mrazuvzdornost do 50 cyklů.



a) NaLiVS



b) NaVS1,5



c) NaVS2,6

Obr. 30: Poškozená tělesa během zkoušky mrazuvzdornosti.

Vzorky po zkoušce mrazuvzdornosti, které nároky splnily jsou na Obr. 31. Jsou to vzorky s použitým aktivátorem metakřemičitanem sodným (a) součinitel mrazuvzdornosti 99 %, Desil AL (b) součinitel mrazuvzdornosti 75 %, Lithné vodní sklo silikátový modul 3 (c) součinitel mrazuvzdornosti 89 % a draselné vodní sklo se silikátovým modulem 2 (d) součinitel mrazuvzdornosti 79 %.



a) MKS



a) Desil Al



c) DVS2



d) LiVS3

Obr. 31: Nepoškozená tělesa po zkoušce mrazuvzdornosti.

6.2.4 Odolnost povrchu proti působení chemických rozmrazovacích látek

Odolnost povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích prostředků (CHRL) byla zkoušena na jednom trámci (40 x 40 x 160) mm od každé záměsi. Tělesa byla po 28 dnech zrání ve vodní lázni vyjmuta a podrobena zkoušce. V Tab. 23 jsou uvedeny hodnoty odpadů po určených cyklech, jejich přepočet na plochu jednoho metru čtverečního a u každé série cyklů také stupeň porušení dle dané normy. Všechny výpočty byly provedeny pro individuálně vypočtené plochy jednotlivých trámců s předpokládaným ideálním ponořením 5mm.

Tab. 23: Odolnost povrchů proti působení chemických rozmrazovacích látek (CHRL)

CHRL po 100 cyklech		Jednotky	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Cykly	Rozpad vzorků	cyklus	x	x	x	25	25	x	x
25	Odpad z trámce	g	1	6	6			0	0
	Odpad	g/m ²	145	868	810			43	58
	Stupeň porušení		2	3	3	5	5	1	2
50	Odpad z trámce*	g	7	18	11			1	1
	Odpad	g/m ²	955	2 648	1 534			159	174
	Stupeň porušení		3	4	4			2	2
75	Odpad z trámce*	g	12	32	15			2	2
	Odpad	g/m ²	1 693	4 602	2 171			289	333
	Stupeň porušení		4	5	5			2	2
100	Odpad z trámce*	g	16	42	19			3	3
	Odpad	g/m ²	2 301	6 135	2 749			463	492
	Stupeň porušení		4	5	5			2	2

*suma

Jako hlavní hodnotící kritérium byla zvolena úroveň stupně poškození 3, tedy narušený povrch s odpadem do 1000 g/m². Tomuto kritériu vyhověly nejlépe kompozity s aktivátorem Desil AL a metakřemičitanem sodným, které po 100 cyklech dosáhly pouze stupně poškození 2 - tedy jen slabého porušení. Dále tuto podmínku splnila i směs s draselným vodním sklem silikátového modulu 2 po 50 cyklech. Podmínku také splnily obě směsi se sodným vodním sklem po 25 cyklech.

Vyhodnocení výsledků podle normy ČSN 73 1326:

Desil AL 463 – 100 (a)

MKS 492 – 100 (b)

DVS2 955 – 50 (c)

NaVS1,5 810 – 25 (d)

NaVS2,6 868 – 25 (e)

Vzhled těles po příslušných počtech cyklů dokládá Obr. 32.



a)



b)



c)



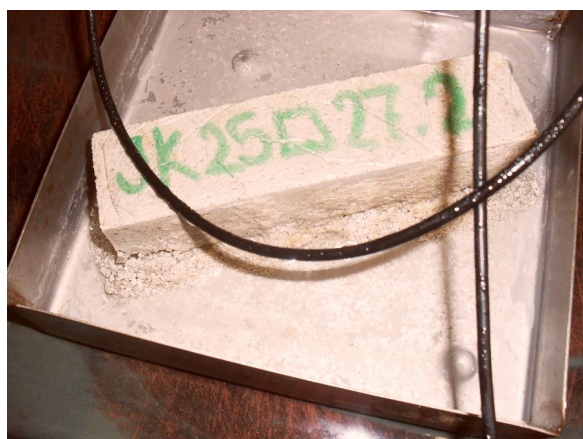
d)



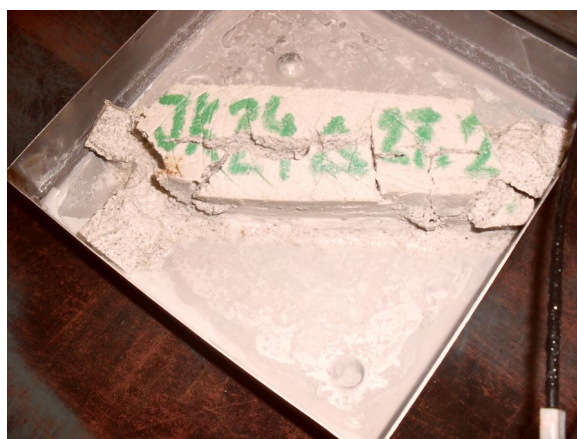
e)

Obr. 32: Vzhled vzorků splňujících kritérium CHRL.

Tělesa, která nesplnila požadavky na CHRL byla na bázi lithného (a) a sodnolithného (b) vodního skla. Jejich stav po 25 cyklech dokládá Obr. 33.



a)



b)

Obr. 33: Vzhled vzorků nesplňujících kritérium CHRL.

6.3. Fáze III - Možnosti využití v praktické aplikaci

Cílem třetí fáze je na směsích vybraných ve fázi I s uvažováním vlastností změřených ve fázi II provést pokusy a zhodnotit vlastnosti pro aplikaci jako štukatérský fasádní prvek a provést srovnání s vlastnostmi hmot pro tyto aplikace běžně používaných jako je bílý cement, sádra, či sádra gibs. V tomto směru bylo srovnání pouze teoretické na základě zkušeností z praxe, a to zejména kvůli chybějícím specifikacím pro tyto materiály.

V této fázi byly zjišťovány vlastnosti jako minimální doba odformování, která je důležitá pro efektivnost práce v praxi. Hodnocení zpracovatelnosti směsí, jejich vyplnění složité formy. Sledování výskytu nevhodné reakce s formou či separační vrstvou, výdrž formy. A v neposlední řadě vizuální charakter vzorků, jejich pórovitost a další znaky jako je barevnost.

6.3.1 Možnosti odformování

Možnosti minimální doby odformování byly sledovány na vzorcích trámečků (40 x 40 x 160) mm. A to protože forma použitá pro ostatní experimenty má omezenou životnost a je pro tyto účely až příliš složitá. Z větší části k tomuto určení byly použity poznatky z předešlých fází, které byly experimentálně potvrzeny. Výsledky jsou popsány v Tab. 24.

Tab. 24: Časové zhodnocení odformování.

Doba odformování	Jednotky	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Minimální	hod.	12	24	24	24	24	6	4
Ideální	hod.	24	24	24	48	48	12	12

Při srovnání s běžně používanými hmotami, tedy na bázi sádry či cementu se jedná o hmoty, které by se měly zařadit mezi tyto dva materiály. Kde sádra je možné odformovat po 2 hodinách, ale její ostatní vlastnosti, jako odolnosti a trvanlivost, nedosahují úrovně alkalicky aktivovaných systémů a hmoty na bázi cementu, které musí být ve formě kolem 24 hodin. V tomto směru se jim rovná lithné a sodnolithné vodní sklo, které má minimálně stejnou dobu odformování.

Velmi dobrou dobou minimálního odformování se vyznačuje Metakřemičitan sodný, cca 4 hodiny a aktivátor Desil AL cca 6 hodin. S těmito aktivátory by se výroba fasádních prvků mohla oproti cementovým výrobkům minimálně dvakrát zrychlit při přibližně stejném provozu ve výrobě.

6.3.2 Hodnocení zpracovatelnosti v praktické aplikaci

Pro alkalicky aktivované systémy je charakteristická nutnost přípravy vzorků určitým pracovním postupem, jak bylo ověřeno v této práci. Záměna ve způsobu míchání může být pro výslednou směs fatální, jak již dříve bylo ilustrováno na Obr. 11., proto při použití v praxi by bylo nutné používat stále stejných postupů za stejných podmínek nebo dosáhnout stejného výsledku úpravou směsi. Což v podmínkách ve štukatérské praxi není problém, jelikož tyto prvky se vyrábějí na jednom místě, jednou technikou a na stavbu se umísťují po vyzrání, popřípadě po úpravě povrchů.

Zpracovatelnost z hlediska doby již byla u vybraných alkalicky aktivovaných systémů hodnocena v kapitole 6.1.2 při srovnání s běžnou sádrą u které je někde mezi 10 - 15 minutami, je doba zpracování u vzorků použitých v této práci vždy delší. Pokud se jedná o dobu zpracování cementových směsí, ta se může pohybovat podle použitých aditiv mezi 30 - 120 minutami, což odpovídá době stejné nebo spíše delší.

Lze také říci, že při zpracování čerstvých směsí se velice dobře pracovalo se směsí na bázi aktivátoru Desil AL, který i přes vcelku nízkou konzistenci 125 mm rozlití, projevoval velmi dobrou reologii a velmi dobře vyplňoval formu.

Při výrobě všech vzorků jsem se nesetkal s žádným problémem, který by mohl ublížit lukoprenové formě nebo například s pohlcením separační vrstvy. Což, jak se zdá, se stávalo s minerálním olejem, který byl použit na běžné formy.

6.3.3 Vizuální hodnocení povrchů a vhodnosti pro vybranou aplikaci

Ve vizuálním hodnocení byla hodnocena zejména barva, kde by bylo žádoucí dosáhnout co největší bělosti. Dále byly vizuálně hodnoceny povrchy, jejich celistvost, pórovitost a vyplnění formy. Bohužel, vzhledem k možnostem výroby mají vzorky každý jiné datum výroby. Také je důležité zmínit, že doba odformování se blíží ideální době odformování dle Tab. 24. Jedná se o vzorky přibližně měsíc staré, které po celou dobu byly uloženy ve vlhkém prostředí. Tuto část ilustruji na Obr. 34 až 42.



Obr. 34: Ilustrace všech vzorků rozet.

(Zleva nahoře je to LiVS3, NaVS1,5, MKS, DESIL AL. Dolní řada zleva NaLiVS, DVS2, NaVS2,6, NaVS1,5.)



Obr. 35: Detailní pohled na vzorek na bázi sodného vodního skla míchaného ručně.



Obr. 36: Detailní pohled na vzorek na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 2,6.



Obr. 37: Detailní pohled na vzorek na bázi draselného vodního skla se silikátovým modulem 2.



Obr. 38: Detailní pohled na vzorek na bázi Sodnolithného vodního skla.



Obr. 39: Detailní pohled na vzorek na bázi Desil AL.



Obr. 40: Detailní pohled na vzorek na bázi metakřemičitanu sodného.



Obr. 41: Detailní pohled na vzorek na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 1,5.



Obr. 42: Detailní pohled na vzorek na bázi lithného vodního skla.

U těchto vzorků lze prohlásit, že vzorky s vhodnou barevností jsou zejména na bázi lithného a sodného vodního skla. Jejich barevnost se však může změnit po vysušení.

Pro hodnocení vhodnosti pro danou aplikaci jsem zvolil tyto vlastnosti: barevnost, jednodolitost povrchu s přihlédnutím na vyrýsování plniva, pórovitost, vyplnění formy s ohledem na poškození při odformování, minimální dobu odformování a počátek doby tuhnutí. Tyto parametry byly hodnoceny subjektivně a hodnoceny na stupnici 1 - 5 podle vhodnosti, kde 1 je nejlepší a 5 je nejhorší. Tyto hodnoty byly sestaveny do Tab. 25.

Tab. 25: Hodnocení vhodnosti pro praktickou aplikaci.

Hodnocení vhodnosti pro danou aplikaci	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný (bezvodý)
Barevnost	1	2	1	2	2	1	2
Jednodolitost povrchu	1	2	2	3	2	2	3
Pórovitost	3	2	2	2	1	2	2
Vyplnění formy	1	2	3	5	2	1	1
Min. Odformování	2	3	3	4	3	1	1
Počátek tuhnutí	1	2	2	1	1	1	2
Konečná známka	1,50	2,17	2,17	2,83	1,83	1,33	1,83

Z Tab. 25 vyplývá, že nejlépe se pro volenou aplikaci hodí směs na bázi aktivátoru Desil AL, který uspěl nejlépe. Další směsí, která by mohla být pro tuto aplikaci vhodná je směs na bázi draselného vodního skla se silikátovým modulem 2, jenž má více pórů. Dobrých výsledků také dosáhly kompozity s aktivátory metakřemičitanem sodným a lithným vodním sklem.

Sodné vodní sklo se silikátovým modulem 1,5 nemělo dostatečnou pevnost při odformování a bylo poškozeno, proto jeho výsledky zdá se nejsou tak dobré, jak by mohly. Sodnolithné vodní sklo také nemělo dostatečnou soudržnost a jeho povrch je poškozený i přes delší dobu ve formě, tato směs dosáhla nejhorších výsledků.

Pro tuto aplikaci bych jistě doporučil především kompozit na bázi Desil AL, jehož výhoda je zejména rychlost odformování a velmi dobrá zpracovatelnost. Také směs s metakřemičitanem dosáhla velmi dobrých vlastností, ale bylo by nutno dále upravit její barevnost.

7. Závěr

Cílem této práce bylo ověření vlivu a vhodného množství použitého aktivátoru na zejména fyzikálně-mechanické vlastnosti alkalicky aktivovaných systémů na bázi jemně mleté granulované strusky z produkce firmy Kotouč Štramberk a.s. s ohledem na jejich budoucí použitelnost v praxi. Jedná se zejména o vliv sodných, draselných, sodnolithných a lithných vodních skel, dále také několika speciálních aktivátorů jako je metakřemičitan sodný, DESIL AL a roztoky koloidních oxidů křemíku. V laboratorním měřítku vyzkoušet možnost přípravy výsledných směsí způsobem obdobným aplikovatelným v praxi a hodnocení použitelnosti, proveditelnosti a vhodnosti pro výrobu štukatérských prvků. Práce byla rozdělena na jednotlivé fáze.

V první fázi bylo připraveno 21 směsí podle 4 metodik výběru z 12 aktivátorů zvolených pro tuto práci. Byly zkoušeny jejich vlastnosti jak v čerstvém, tak tuhém stavu po 7 dnech zrání při přibližně stejné konzistenci. Z těchto bylo vybráno 7 nejlepších směsí pro další práci, od každého aktivátoru byla vybrána směs s nejlepšími vlastnostmi pro další výzkum.

Pět aktivátorů bylo z práce vyloučeno a dále se s nimi již nepracovalo, jmenovitě to byly Bindzil 1440, Bindzil 1430MSLV, Tosil A, a to zejména pro jejich potencionální zdravotní závadnost ve spojení s použitou struskou. Také pro nevyhovující vlastnosti směsí, u kterých nezačal proces tuhnutí a tvrdnutí. Tento problém je nejspíše spojený s malou alkalicitou použitých aktivátorů. Dalšími aktivátory, které byly z další práce vyloučeny jsou vodní skla sodná a draselná se silikátovým modulem 3 a vyšším. Tyto neměly vhodné vlastnosti, a to zejména dlouhou dobu tuhnutí a zanedbatelné pevnostní charakteristiky po sedmi dnech. Tento problém bude také spojen s nedostatečnou alkalicitou směsí na bázi těchto aktivátorů.

Druhá fáze byla zaměřena zejména na měření konečných fyzikálně-mechanických vlastností a doby zpracovatelnosti směsí vhodně zvolených ve fázi jedna. Byly zjišťovány pevnosti po 1, 7 a 28 dnech zrání, jejich odolnosti proti zmrazování, odolnost povrchů proti působení chemických rozmrazovacích látek, počátky a konce doby tuhnutí.

Konečné pevnosti se pohybovaly mezi 40 - 100 MPa. Objemová hmotnost v rozmezí 2250 - 2300 kg/m³. Mrazuvzdornost metakřemičitanových, lithných, Desil Al a draselných směsí splňuje požadavky po 100 cyklech stejně jako odolnost povrchů proti působení chemických rozmrazovacích látek. Počátky a konce dob tuhnutí se pohybují kolem 40 minut u těch nejrychleji tuhoucích až po 120 minut u vzorků pomalu tuhoucích. Všechny se však vyznačují krátkou dobou tuhnutí od 5 do 15 minut. V této fázi se však ukázala nevhodnost směsí ze sodnolithného

vodního skla, u kterého zkoušky neprokázaly vhodné vlastnosti.

Všechny důležité naměřené veličiny jsou uvedeny v Tab. 26, jedná se o souhrn všech zjištěných vlastností u vybraných sedmi směsí.

Tab. 26: Souhrnná tabulka všech měřených vlastností

Souhrnná tabulka všech měřených vlastností		Název	Jednotky	Draselné vodní sklo silikátový modul 2	Sodné vodní sklo silikátový modul 2,6	Sodné vodní sklo silikátový modul 1,5	Sodno-lithné vodní sklo	Lithné vodní sklo silikátový modul 3	DESIL AL	Metakřemičitan sodný
		zkratka		DVS2	NaVS2,6	NaVS1,5	NaLiVS	LiVS	Desil	MKS
		množství	ml/g	176	135	83	176	176	135	88
Směs	Pojivo	Struska	g	450	450	450	450	450	450	450
	Plnivo	Písek	g	1350	1350	1351	1352	1353	1354	1355
	Voda		g	45	105	115	45	45	105	180
Vlastnosti čerstvých směsí	Konzistence		mm	166	130	126	136	157	115	123
	Zpracovatelnost		min	20	25	25	15	15	20	20
	Doba tuhnutí	Počátek	min	35	90	25	80	75	95	45
		Konec	min	45	120	30	105	105	105	50
Vlastnosti tuhé směsi	Objemová hmotnost		kg/m ³	2300	2300	2300	2250	2250	2300	2300
	Pevnosti v tahu za ohybu	Po 1 dni	MPa	2,1	1,1	0,5	0,4	1,4	2,9	4,78
		Po 7 dnech	MPa	3,9	2,1	4,5	0,5	1,8	6,9	6,28
		Po 28 dnech	MPa	9	9,1	5,4	0,5	8,9	9,5	6,44
	Pevnosti v tlaku	Po 1 dni	MPa	27	5,4	13	1,2	9,3	18	37
		Po 7 dnech	MPa	35	8	24	1,2	11,5	49,2	70,8
		Po 28 dnech	MPa	96,5	74,4	40	1,4	51	101	99
	Doba odformování	Minimální	hod.	12	24	24	24	24	6	4
		Ideální	hod.	24	24	24	48	48	12	12
	CHRL	stav po 25	°des	2	3	3	rozpad	rozpad	1	2
		stav po 100	°des	4	5	5	rozpad	rozpad	2	2
	Mrazuvzdornost	zničení po	cyklus	N	60	50	11	N	N	N
		ohyb	100	7,15	N	N	N	7,93	7,15	6,4
		Tlak	100	105,5	N	N	N	65	102	85,5
		Součinitel tah		0,79	N	N	N	0,89	0,75	0,99
		Součinitel tlak		1,09	N	N	N	1,27	1,01	0,86

V poslední fázi zkoumání alkalicky aktivovaných systémů byly zjišťovány parametry požadované přímo v praxi. Jako aplikace byly zvoleny fasádní prvky, které by mohly být použity při rekonstrukcích či jiných stavebních činnostech v oboru štukatérství. Důležitými parametry je doba odformování, doba zpracování a kvalita povrchů.

Doby, kdy je možné tělesa odformovat se u většiny vhodných směsí pohybovaly mezi 4 - 12 hodinami. Doba, kdy je směs možné zpracovávat bez změny reologie byla mezi 15 - 25 minutami. V hodnocení povrchů nejlépe dopadly směsi na bázi metakřemičitanu sodného, Desil AL, lithné a draselné vodní sklo.

Pro štukatérské prvky pro vnější i vnitřní použití bych na základě měřených vlastností doporučoval použít směs na bázi aktivátoru Desil AL. Ve všech zkouškách dosáhl velmi dobrých vlastností a to včetně vzhledu povrchu, velmi dobré zpracovatelnosti i odolnosti proti působení vnějších vlivů. Mohl by být vhodným kompromisem řešení pro současně používané materiály buď na cementové bázi, které mají dlouhou životnost, ale také dlouhou dobu zrání ve formě a na druhou stranu také sádře, která má krátkou dobu zrání ve formě, ale také velmi omezenou životnost.

Dobrých výsledků dosáhlo i draselné vodní sklo se silikátovým modulem 2, téměř ve všech zkouškách dopadlo s nadprůměrnými výsledky. Jeho největším problémem je pórovitost povrchu, která však mohla být způsobena mnoha faktory.

V rámci dalšího výzkumu považuji za vhodné se dále zabývat především aktivátory, které nejsou tolik známé či dosud používané k alkalické aktivaci. Jak tato práce ukazuje, aktivátor Desil AL má velice vhodné vlastnosti a mohlo by být zajímavé jej sledovat z dlouhodobějšího hlediska. Také lithné vodní sklo má přínosné vlastnosti a jeho potenciál by bylo vhodné prozkoumat v oblasti možného užití pro přípravu alkalicky aktivovaných kompozitů ve větší míře.

8. Seznam použitých pramenů

- [1] BRANDŠTETR, J., KOLOUŠEK, D., VOREL, J., OPRAVIL, T., BAYER, P.: *Geopolymery, geopolymerní cementy a betony*. SILIKA 2005, 7-8, s. 208-211. ISSN 1213- 3930.
- [2] BRANDŠTETR, J., MELUZÍN, O., KOHUT, J., ZAVŘEL, Š.: *Příprava a některé vlastnosti struskoalkalických betonů*. STAVIVO 1986, 5, s. 182-188. ISSN 0039-0810.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ: *Současný stav výzkumu v oblasti geopolymérů*. Česká rozvojová agentura, O.P.S, s. 385 (2005)
- [4] ČSN EN 1008: *Záměsová voda do betonu- Specifikace pro odběr vzorků a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané pro recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu*. Český normalizační institut (2003)
- [5] ČSN EN 196-1: *Metody zkoušení cementu-stanovení pevnosti*. Český normalizační institut (2005)
- [6] ČSN EN 15167-1 *Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*, Český normalizační institut (2006)
- [7] ČSN 73 1322 ZMĚNA Z1: *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*. Český normalizační institut (2003)
- [8] ČSN 73 1326 ZMĚNA Z1: *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Český normalizační institut (2003)
- [9] ČKAIT : *Vysokohodnotný beton*. v Praze:, 2005. ISBN 80-86769-39-9
- [10] DAVIDOVITS, J.: *Geopolymer: chemistry and applications*. 3rd ed.. Saint-Quentin: Institut Géopolymère, 2011, 610p. , ISBN 978-295-1482-050.
- [11] DAVIDOVITS, J.: *Geopolymers. Inorganic polymeric New Materials. Journal of Thermal Analysis*, vol.37, p. 1633, 1991, ISSN 1588-2926.
- [12] DAVIDOVITS, J.: *Nové dějiny pyramid-Šokující pravda o stavbě pyramid*. 1.vyd., Olomouc: FONTÁNA, 2006.s. 276 .ISBN 80-7336-341-0.
- [13] HANZLÍČEK, T., PERNÁ, I., STEINEROVÁ, M., STRAKA, P.: *Využití anorganických polymerů a druhotných surovin pro stavebnictví*. Ustav struktury a mechaniky hornin AV ČR- Oddělení chemie geopolymérů. Dostupné z: <http://www.claypolymers.com/cz/prezentace.html>
- [14] ŠKVÁRA, F.: *Alkalicky aktivované materiály geopolymery*. Ústav skla a keramiky,

VŠCHT v Praze, přístupno z <http://www.vscht.cz>

- [15] VLČEK, J.: *Materiálové využití strusek z metalurgie železa a oceli metodou alkalické aktivace. Habilitační práce* Ostrava: MS FMMI VŠB-TUO, 101 s. (2008)
- [16] ČSN EN 196-3+A1: *Metody zkoušení cementu- Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (2009)
- [17] ČSN EN 1015 ZMĚNA A2: *Zkušební metody malt pro zdivo- Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím stráscacího stolku)* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (2009)
- [18] *Struska*, dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Struska>
- [19] *Výroba vodního skla*, dostupné z: <http://vodnisklo.cz/view.php?cisloaktuality=2009120901>

9. Přílohy

Příloha 1	Technický list vodní sklo draselné
Příloha 2	Technický list vodní sklo sodné
Příloha 3	Technický list vodní sklo lithnosodné
Příloha 4	Technický list vodní sklo lithné
Příloha 5	Technický list metakřemičitan sodný
Příloha 6	Technický list DESIL AL
Příloha 7	Technický list Tosily a bindzily
Příloha 8	Certifikát na normalizovaný písek
Příloha 9	Prohlášení o vlastnostech pro strusku (L020-CPD-0700372)

Seznam obrázků

- Obr. 1: Zobrazení atomových uspořádání dle Davidovitse [10]
- Obr. 2: Zpevňování alkalicky aktivovaných systémů část 1-5 podle Davidovitse [10]
- Obr. 3: Zpevňování alkalicky aktivovaných systémů část 6-7 podle Davidovitse [10]
- Obr. 4: Schéma neuspořádané struktury alkalicky aktivovaného systému [1]
- Obr. 5: Zikkurat v Uru [3]
- Obr. 6: Cheopsova pyramida [11]
- Obr. 7: Římský akvadukt Seguvia stavěný dle Vitruvia
- Obr. 8: Blokové schéma výroby vodního skla [19]
- Obr. 9: Míchačka Beton systém MI - CM5A
- Obr. 10: Vibrační stůl s formou Beton systém
- Obr. 11: Srovnání těles dle způsobu výroby vlevo ručně vpravo míchačkou.
- Obr. 12: Forma na rozety a dusadlo
- Obr. 13: Zkušební lis Formtest Mega 100 – B00 - 100M1.
- Obr. 14: Zkouška v tahu za ohybu.
- Obr. 15: Zkouška v tlaku.
- Obr. 16: Mrazicí zařízení pro určení mrazuvzdornosti KD-20.
- Obr. 17: Vicatův přístroj manuální Beton systém.
- Obr. 18: Stůl pro zkoušení konzistence Beton systém RS - 15.
- Obr. 19: Popis celistvosti směsí.
- Obr. 20: Ukázka vybraných nevhodných těles po 7 dnech.
- Obr. 21: Vzhled těles na bázi draselného vodního skla se silikátovým modulem 3 typ 1,2.
- Obr. 22: Vzhled těles na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 3 typ 1,2.
- Obr. 23: Vzhled těles na bázi sodnolithného vodního skla typ 3.
- Obr. 24: Vzhled těles na bázi lithného vodního skla typ 3.
- Obr. 25: Vzhled těles na bázi aktivátoru DESIL AL typ 2.
- Obr. 26: Grafické znázornění vývoje pevností těles v tlaku v závislosti na čase.

- Obr. 27: Grafické znázornění vývoje pevností těles v tahu za ohybu v závislosti na čase.
- Obr. 28: Grafické znázornění objemové hmotnosti u jednotlivých vzorků.
- Obr. 29 :Grafické znázornění dob tuhnutí.
- Obr. 30: Poškozená tělesa během zkoušky mrazuvzdornosti.
- Obr. 31: Nepoškozená tělesa po zkoušce mrazuvzdornosti.
- Obr. 32: Vzhled vzorků splňujících kritérium CHRL.
- Obr. 33: Vzhled vzorků nesplňujících kritérium CHRL.
- Obr. 34: Ilustrace všech vzorků rozet.
- Obr. 35: Detailní pohled na vzorek na bázi sodného vodního skla míchaného ručně.
- Obr. 36: Detailní pohled na vzorek na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 2,6.
- Obr. 37: Detailní pohled na vzorek na bázi draselného vodního skla se silikátovým modulem 2.
- Obr. 38: Detailní pohled na vzorek na bázi Sodnolithného vodního skla.
- Obr. 39: Detailní pohled na vzorek na bázi Desil AL.
- Obr. 40: Detailní pohled na vzorek na bázi metakřemičitanu sodného.
- Obr. 41: Detailní pohled na vzorek na bázi sodného vodního skla se silikátovým modulem 1,5.
- Obr. 42: Detailní pohled na vzorek na bázi lithného vodního skla.

Seznam tabulek

- Tab. 1: Granulometrie standardního písku CEN [5]
- Tab. 2: Základní charakteristiky strusky dle prohlášení o shodě
- Tab. 3: Typické složení vysokopecních strusek [9]
- Tab. 4: Složení vodního skla draselného
- Tab. 5: Složení vodního skla sodného.
- Tab. 6: Složení vodního skla Sodnolithného
- Tab. 7: Složení vodního skla Lithného.
- Tab. 8: Složení metakřemičitanu sodného
- Tab. 9: Složení DESIL AL 1.
- Tab. 10: Složení koloidních oxidů křemíku.
- Tab. 11: Složení vstupních směsí část 1
- Tab. 12: Složení vstupních směsí část 2
- Tab. 13: Vlastnosti čerstvých směsí část 1
- Tab. 14: Vlastnosti čerstvých směsí část 2
- Tab. 15: Vlastnosti tuhých směsí část 1
- Tab. 16: Vlastnosti tuhých směsí část 2
- Tab. 17: Směsi s vhodnými vlastnostmi pro fázi II
- Tab. 18: Pevnosti a objemová hmotnost po 1 dni.
- Tab. 19: Pevnosti a objemová hmotnost po 7 dnech.
- Tab. 20: Pevnosti a objemová hmotnost po 28 dnech.
- Tab. 21: Počátek a konec doby tuhnutí.
- Tab. 22: Mrazuvzdornost po 100 cyklech.
- Tab. 23: Odolnost povrchů proti působení chemických rozmrazovacích látek (CHRL)
- Tab. 24: Časové zhodnocení odformování.
- Tab. 25: Hodnocení vhodnosti pro praktickou aplikaci.
- Tab. 26: Souhrnná tabulka všech měřených vlastností.

Příloha 1



VODNÍ SKLO DRASELNÉ

Obecné vlastnosti: Vodní sklo draselné je čirá nebo slabě zakalená viskózní kapalina, bezbarvá nebo lehce nažloutlá, neomezeně mísitelná s vodou.

Použití: K výrobě speciálních dezinfekčních a odmašťovacích prostředků, jako náplň do alkalických akumulátorů, jako pojivo do speciálních žáruvzdorných vyzdívek. Pro výrobu fasádních nátěrových hmot na silikátové bázi.

	DVS 1,7	DVS 2,5 B	DVS 3,0 A	DVS 3,0 BA
Obsah K ₂ O min. % hm.	26,0-26,5	8,7-8,9	12	14
Obsah SiO ₂ min. % hm.	28,2-29	13,7-14,4	24	25,5
Sušina min. % hm.	54,2-55,75	22,4-23,3	36	39,5
Molární poměr SiO ₂ /K ₂ O	1,67 - 1,73	2,4 - 2,6	3,0 - 3,2	2,78 – 2,87
Hustota min. kg.m ⁻³	1650-1670	1180 - 1240	1350	1400
Hustota °Bé	51 - 53		37 - 38	42
Viskozita mPa.s	110-230		25 - 35	45 - 55

	DVS 3,2-3,4	DVS 3,7 A	DVS 3,8-4,1 A
Obsah K ₂ O min. % hm.	12,5	8,5	7,3
Obsah SiO ₂ min. % hm.	27	20,3	19
Sušina min. % hm.	39,5	28,8	26,3
Molární poměr SiO ₂ /K ₂ O	3,2 - 3,4	3,65 - 3,75	3,8 - 4,1
Hustota min. kg.m ⁻³	min. 1350	1255	1240
Hustota °Bé	40	29 - 30	28 – 29
Viskozita mPa.s		8 - 12	15 – 25

Dle požadavků zákazníka lze upravit hodnoty molárního poměru SiO₂/K₂O a hodnotu hustoty.

15.2.2010



Balení:

- sudy o obsahu 200 l
- volně v železničních cisternách nebo autocisternách
- jiné obaly zákazníka od 50 l výše
- v případě obalů dodaných zákazníkem, výrobce neodpovídá za změny v kvalitě způsobené znečištěným obalem.

Doprava a skladování: Možno přepravovat a skladovat při teplotách vyšších než 0 °C.

Ochrana a bezpečnost práce: Podle zákona č.356/2003 Sb. je výrobek klasifikován jako **dráždivý** s rizikovými větami:

R 38 - Dráždí oči a kůže, **R 41** - Nebezpečí vážného poškození očí.

Při práci s ním je třeba chránit pokožku ochrannými rukavicemi, obličej štítem, tělo pracovním oděvem, gumovou zástěrou a obuví.

Likvidace výrobku: Malé množství vysrážet kyselinou chlorovodíkovou za vzniku kyseliny křemičité v tuhé formě, odvézt na příslušnou skládku. Likvidace obalů: Ocelové, pozinkované nebo plasové sudy odvézt do sběrných surovin.

Výrobce - provozovna:

Vodní sklo a.s. , Krakovská 1346, Praha 110 00

1) Dornych 47, 656 16 Brno
Tel.: +420 545 535 225
Fax: +420 545 234 108

2) U Tonasa 172/2, 403 31 Ústí nad Labem
Tel.: +420 475 245 364
Fax: +420 475 507 164

e-mail: info@vodnisklo.cz
www.vodnisklo.cz

15.2.2010

Vodní sklo, a.s. | Praha 1 | Nové Město | Krakovská 1346/15 | PSČ 110 01 | IČO: 279 21 662
pobočka: Brno | Dornych 47 | PSČ 656 16 | tel.: +420 545 535 225 | fax: +420 545 234 108 | e-mail: info@vodnisklo.cz | www.vodnisklo.cz

Příloha 2



KITTFORT PRAHA
Hornátky 1
277 11 Neratovice

VODNÍ SKLO

PN:KT-B-17-01-09

Název výrobku

Vodní sklo

Složení

Vodní sklo sodné 36-38, křemičitá kyselina, sodná sůl

Odstín

Našedlá až načervenalá kapalina

Použití

Vodní sklo se používá ke konzervaci vajec nebo jako pojivo do žáruvzdorných malt a tmelů

Dávkování

Konzervace vajec: 1 díl vodního skla + 9 dílů převařené vody. Na láhev o obsahu 5 litrů (50 ks vajec) stačí 2,5 litrů roztoku. Čistá omytá vejce vložíme do láhve a zalijeme roztokem.

Pojivo do žáruvzdorných malt a tmelů: Rudokitt- univerzální žáruvzdorný tmel vodní sklo s vodou v poměru 2:1
Šamotová výmazová hmota-přibližně 2 polévkové lžíce na 1 kg šamotové hmoty

Bezpečnost a ochrana zdraví

KLASIFIKACE: Xi - dráždivý

První pomoc

Při nadýchání: za běžné teploty má látka nízkou tenzi par. Pokud při nadýchání způsobí nepříznivé účinky, přesunout postiženého do nekontaminovaného prostředí. Vyhledat lékaře.

Při požití: při náhodném požití vypít asi půl litru vody nebo mléka a do 5 minut po požití vyvolat zvracení. Později zvracení nevyvolávat.

Při zasažení kůže: odložit kontaminovaný oděv a kůži omýt velkým množstvím vody.

Při zasažení očí: zasažené oko vyplachovat proudem vodou

Vzhled

kapalina našedlá až načervenalá

Balení

500ml, 11,5l

Záruční doba: 18 měsíců od data plnění uvedeného na obalu.

Příloha 3



LITHNOSODNÉ VODNÍ SKLO

Vlastnosti : Lithnosodné vodní sklo je bezbarvá čirá až mírně zakalená nízkoviskózní kapalina tvořená směsí lithných a sodných křemičitanů

Jakostní ukazatele :

obsah SiO_2 (%hm.)	17,7 - 22,2
obsah Li_2O (%hm.)	1,7 - 1,9
obsah Na_2O (%hm.)	1,1 - 1,4
pH	12,5 - 13,5
hustota [kg.cm^{-3}]	min. 1190
viskozita [mPas]	min. 3

Výhody : Sodná vodní skla o molárním poměru $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ větším než 4 při koncentracích SiO_2 nad 10% jsou značně nestabilní. Podobně je tomu i u draselných vodních skel, která se při molárním poměru $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ větším než 4 stávají po určité době viskóznější.

Lithnosodná vodní skla jsou stabilní a mají nízkou viskozitu i při vysokých molárních poměrech a koncentracích okolo 20% SiO_2 .

Použití :1) Pojivo pro antikorozi ochranné povlaky

Na rozdíl od křemičitanů alkalických kovů (Na,K) tvoří vodné roztoky křemičitanu lithného při sušení filmy ve vodě obtížněji rozpustné, které lze vytvrzovat při nižších teplotách. Mechanismus vytvrzovacího procesu není zcela znám. Vlastnosti filmu se mění s časem, což ukazuje, že nastává proces vytvrzování. Podstatnou částí vytvrzovacího procesu je reakce kovového zinku s křemičitanovými ionty, čímž se vytvoří komplex křemičitanů zinku. Práškový zinek může být nahrazen práškovým olovem, práškovým hliníkem nebo oxidem zinečnatým apod.

Typické složení :

zinkový prach (velikost částic 6 mikronů)	49 hmotn. dílů
oxid železitý (jemný)	1 hmotn. dílů
lithnosodné vodní sklo	11 hmotn. dílů
voda	39 hmotn. dílů

Hlavními výhodami při použití lithnosodného vodního skla je :

- vynikající přilnavost ke kovovému povrchu
- nízká viskozita i při vysokých molárních poměrech

2) Dočasné ochranné povlaky pro kovové a jiné povrchy

Proti poškození během dopravy nebo při montáži je někde nutné vytvořit dočasný ochranný povlak na kovovém nebo jiném povrchu. Takový povlak lze bez obtíží vytvořit nastříkáním, nátěrem nebo máčením v lithnosodném vodním skle s následným vysušením na vzduchu. Pružnost nanesených filmů lze zvýšit přidáním maziv např. slídy, grafitu, disulfidu molybdeničitého k povlakovému roztoku. Chráněný předmět pak může být tvarován nebo formován bez poškození ochranného povlaku. Takto vytvořené povlaky lze odstranit omytím nebo očištěním parou.

Pro vytvoření trvanlivějších ochranných povlaků je nutné vytvrzení filmu. Vytvrzení lze provést ohřátím na teplotu 95 až 260 °C nebo chemicky přidávkou vytvrzovacího činidla (borax nebo bromid draselný).

15.2.2010



3) Ochranné povlaky pro organické povrchy

Lithnosodné vodní sklo může být aplikováno nátěrem štětcem, nastříkáním nebo máčením na papír, tkaniny apod. Vytvořením ochranného povlaku se stane předmět odolným proti vlhkosti a nehořlavým. Dřevěné povrchy jsou navíc účinně chráněny proti hnilobě, mravencům, červotoči a jinému destruktivnímu hmyzu. Přidavkem vodorozpustného barviva lze zároveň provést obarvení předmětu.

4) Lithnosodné vodní sklo jako lepidlo

Lithnosodné vodní sklo může být použito ve spojení s vytvrzovacím činidlem (borax, bromid draselný) a inertním plnidlem jako lepidlo, kterým lze slepovat dřevo, papír, lepenku, tkaninu, plastické hmoty, sklo, porcelán, kovy, beton, cihlu. Spoj je odolný vůči vodě.

5) Povrchová úprava betonu, zdiva a pod.

Lithnosodné vodní sklo ve spojení s polymerovou emulzí (např. polyvinylacetát nebo latex butylkaučuku apod.), inertními plnivy, pigmenty, utváří velmi dobré povlaky pro beton a zdivo. Výsledný trvanlivý povlak poskytuje ochranu proti erozi a vlhkosti. Poměr polymerové emulze k lithnosodnému sklu se bude měnit podle aplikace a pohybuje se v rozsahu 1:1 až 4:1 hmotnostních dílů polymerové emulze k lithnosodnému vodnímu sklu.

6) Povlaky odolné vůči vodě

Lithnosodné vodní sklo ve směsi s disperzí kovového prachu a s malým množstvím alkalických kovových dvochromanů poskytuje účinný ochranný povlak s vynikající adhezí, tvrdostí a odolností proti vlhkosti. Aplikace je možná na lodní spodky, vnější stěny různých nádrží na vodu apod.

Balení : - plechové sudy o obsahu 200 l

- polyetylenové barely o obsahu 40 nebo 50 l
- jiné obaly dle dohody se zákazníkem

Doprava a skladování : Lithnosodné vodní sklo je možno skladovat a přepravovat při teplotách nad +1°C v uzavřených obalech.

Ochrana a bezpečnost práce : Lithnosodné vodní sklo je ve smyslu zákona č.356/2003 Sb. klasifikováno jako **dráždivé** s rizikovými větami: **R 38-Dráždí kůži** **R 41-Nebezpečí vážného poškození očí**. Při práci s ním je třeba chránit pokožku ochrannými rukavicemi, obličej štítem, tělo pracovním oděvem, gumovou zástěrou a obuví.

Výrobce – provozovna: **Vodní sklo a.s. , Dornych 47, 656 16 Brno**

Tel.: +420 545 535 225 – technolog +420 475 245 259

Fax: +420 545 234 108

e-mail: info@vodnisklo.cz

www.vodnisklo.cz

15.2.2010

Příloha 4



LITHNÁ VODNÍ SKLA

Vlastnosti: Lithná vodní skla jsou čiré nebo slabě zakalené nízkoviskózní kapaliny mísitelné s vodou v libovolném poměru.

Jakostní ukazatele:

	M 3,0 - 3,5	M 4,5 - 5	M 5,6 - 6,3	M 7,4 - 7,7
pH	10 - 11	10 - 11	10 - 11	10 - 11
Obsah SiO ₂ % hm. min.	19,0	20,7	18,0	19,5
Obsah Li ₂ O % hm. min.	3,1	2,1	1,45	1,31
Molární poměr SiO ₂ / Li ₂ O	3,0 - 3,5	4,5 - 5,0	5,6 - 6,3	7,4 - 7,7
Hustota g.cm ⁻³ min.	1,190	1,190	1,150	1,150
Viskozita mPa.s min.	3	3	1,5	1,5

Použití: Lithná vodní skla se používají jako pojiva při výrobě speciálních nátěrových hmot, k ochraně dřeva proti hnilobě, ohni, vodě, termitům, červotočům a k impregnaci přírodních materiálů, azbestu a skelných vláken. Samotná lithná vodní skla nebo ve spojení s různými přísadami jsou účinným spojovacím a tmelícím činidlem k docílení vodě odolných spojení dřeva, papíru, lepenky, tkanin, plastických hmot, kovů, betonu, cihel apod. Další použití je možné k výrobě svařovacích elektrod a ve stavebnictví, ke zpevňování pórovitých přírodních, umělých i historických omítek a savých přírodních i umělých kamenů.

Balení: Plastové sudy o obsahu 200 l, jiné obaly dle požadavků zákazníka od 40 l výše.

Doprava a skladování: Lithná vodní skla je možno přepravovat a skladovat při teplotách nad +1°C.

Ochrana a bezpečnost práce: Lithná vodní skla jsou ve smyslu zák. č. 356/2003 Sb. klasifikována jako **dráždivá** s rizikovými větami: **R 38 - Dráždí kůži**, **R 41 - Nebezpečí vážného poškození očí**. Při práci s nimi je třeba chránit pokožku ochrannými rukavicemi, obličej štítem, tělo pracovním oděvem, gumovou zástěrou a obuví.

Výrobce – provozovna: Vodní sklo a.s., Dornych 47, 656 16 Brno

Tel.: +420 545 535 225 – technolog +420 475 245 259

Fax: +420 545 234 108

e-mail: info@vodnisklo.cz

www.vodnisklo.cz

15.2.2010

Příloha 5



METAKŘEMIČITAN SODNÝ (5 H₂O)

Vlastnosti: Metakřemičitan sodný je bílý krystalický prášek o nesourodé velikosti částic, snadno rozpustný ve vodě na alkalický reagující roztok

Použití: Používá se zejména k výrobě průmyslových detergentů, pracích a dezinfekčních prostředků.

Jakostní ukazatelé:

	Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O
SiO ₂	27,8 - 29,2 %
Na ₂ O	28,0 - 29,4 %
Molární poměr SiO ₂ /Na ₂ O	0,98 - 1,02
Ztráta žháním (600°C)	42,0 - 44,0 %
Fe	< 100 ppm
Nerozpustná zbytek	< 0,02%
Sypný hmotnost	800 – 1000 g/l
pH (1% roztok)	12,5
Velikost částic	
1600 – 1250 μm	10 – 40%
1250 – 630 μm	30 – 90%
630 – 200 μm	< 25 %

Balení :

PE-pytle s obsahem 25 kg netto na dřevěných paletách

Big bagy (1000 kg)

Doprava a skladování:

Metakřemičitan sodný je možno transportovat v krytých dopravních prostředcích a skladovat v neporušených obalech v krytých a suchých prostorech.

Ochrana a bezpečnost práce :

Podle zákona č. 356/2003 Sb. je výrobek klasifikován jako **žravý** s rizikovými větami:

R34 - Způsobuje poleptání R37 - Dráždí dýchací orgány

Při potřísnění pokožku omýt proudem vody a ošetřit ochrannou masťou. Při zasažení očí vypláchnout co nejrychleji proudem čisté vody a vyhledat ihned lékařskou pomoc.

Vypracováno: 15.2.2010

Aktualizováno: 11.10.2010

Příloha 6



Desil Al – geopolymer binder

DESIL Al is a colloidal solution with an additive Al which differs in its composition and properties from classic colloidal solutions of alkaline silicates, designated as water glasses.

DESIL Al is a colloidal solution whose framework is very similar to zeolitic structures. Atoms of aluminium create local negative charge which locates the Na ion more firmly. Thus the difference from classic water glass. It has reduced coagulative threshold and rigidity characteristics at higher temperatures.

Parameters:

Al	0,1 – 2 %
MP SiO ₂ /Na ₂ O	1,6 – 2,0
Density	1 470 – 1 570 kg/m ³

Application: Bonding agent in foundry industry, waste processing, production of detergents and cleaning agents, production of thermal insulating materials, flocculant water & wastewater treatment.

According to the customer's requirements, it is possible to adjust the values of SiO₂/Na₂O molar ratio and the value of density.

Packing - plastic barrels of a 200 liters capacity
IBC container 1 000 l
in bulk in tank cars or tank trucks

In case of packing delivered by a customer, the producer is not responsible for the changes of quality caused by a contaminated packing.

Transport and storage: Transport and store at the temperatures above 5 °C

Vodní sklo, a.s. | Praha 1 | Nové Město | Krakovská 1346/15 | PSČ 110 01 | IČO: 279 21 662
pobočka: Brno | Dornych 47 | PSČ 656 16 | tel.: +420 530 530 000 | fax: +420 530 530 002 | e-mail: info@vodnisko.cz | www.vodnisko.cz
pobočka: Ústí nad Labem | U Tonasa 172/2 | PSČ 403 31 | tel.: +420 475 245 210 | fax: +420 475 507 160 | e-mail: info@vodnisko.cz | www.vodnisko.cz



Protection and labour safety:

According to the act nr. 356/2003 Sb, the product is classified as irritable with following risk sentences: R 38 – Irritates skin R 41 – Danger of severe eye damage.

While manipulating it is necessary to protect skin using protective gloves, face shield, working clothes, rubber apron and footwear.

Product disposal: Precipitate using hydrochlorid acid at the occurrence of silicic acid in solid form, take away to appropriate dumping ground.

Packaging disposal: Take away steel or plastic barrels to a junk.

Producer – premise: *Vodní sklo a.s. , Krakovská 1346/15, Praha 1, 110 00*

- 1) *Ústí nad Labem, U Tonasa 172/2, 403 31*
- 2) *Brno, Dornych 47, 656 16*

e-mail: info@vodnisklo.cz
www.vodnisklo.cz

Příloha 7

**BINDZIL, TOSIL**

Vlastnosti: Slabě opalizující nebo mléčně zabarvený koloidní roztok kyseliny křemičité ve vodě. Slabě alkalické typy s pH 8,0 – 10,5 a nízkým obsahem stabilizačních alkálií. Všechny typy jsou anionaktivní a částice mají záporný náboj.

Specifikace:

Parametry	Bindzil 1430 MS	Bindzil 1430 MSLV	Bindzil 1430	Bindzil 1440
SiO ₂ (% hm.)	29,4 – 31,5	30	28,9 – 30,8	38,6 – 40,6
Na ₂ O (% hm.)	0,15 – 0,25	≤ 0,20	0,33 – 0,47	0,35 – 0,60
Hustota (kg/m ³)	1200 - 1218	1203 – 1211	1200 – 1216	1288 - 1307
pH	8,8 – 10,2	8,0 – 9,5	9,6 – 11,0	9,9 – 10,9
Viskozita (mPas ⁻¹)	6	≤ 5,0	Max 12	Max 30
Velikost částic (nm)	max. 12	14		
Nemrznoucí úprava	ano	ano	ano	ano
Parametry	Tosil A	Tosil 4A	Tosil 15	
SiO ₂ (% hm.)	> 29,0	3,0 – 5,0	15,0 – 16,0	
Na ₂ O (% hm.)	Max. 0,25	Max. 0,25	0,15 – 0,25	
Hustota (kg/m ³)	> 1200	1,010 – 1,030	1100	
pH	9 - 10	8,5 – 10,5	9,0 – 10,0	
Viskozita (mPas ⁻¹)	5			
Velikost částic (nm)	12 - 17			
Nemrznoucí úprava	ano			

Aplikace:

- Pojivo při výrobě žáruvzdorných materiálů
- Povrchová úprava textilních vláken, papíru, kartonu
- Výroba nátěrových hmot, stavební chemie, složka do sanačních přípravků
- Výroba vín, piva a ovocných šťáv Stomatologie

Balení:

- 200 l PE sudy
- 1000 l IBC kontainery
- autocisterny

Příloha 8



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.

Technical and Test Institute for Constructions Prague

Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán
Accredited Test Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body

Certifikační orgán na výroby
Pobočka 0400 – Teplice
vydává

CERTIFIKÁT

č. 040 – 025 473

na výrobek:

Normalizovaný písek

typ/varianta : **CEN, ČSN EN 196-1**

žadatel:

Filtrační písky, spol. s r. o.

IČ:	25 40 90 00
Adresa:	Chlum 117, 471 41 Dubá
Výrobna:	Chlum
IČ:	25 40 90 00
Adresa:	Chlum 117, 471 41 Dubá
Zakázka:	Z040 00 0053

Certifikační orgán tímto certifikátem osvědčuje, že:

- u vzorku předmětného výrobku zjistila shodu jeho vlastností s požadavky konkretizovanými ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnosti;
- výrobek odpovídá požadavkům technického předpisu - Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o požadavcích na radiační ochranu ve znění Vyhlášky 499/2005 Sb.

Tento certifikát je vydán na základě protokolu o výsledku certifikace výrobku č. 040 - 025 472 ze dne 16. června 2006 vydaného TZÚS Praha, s. p. - pobočkou Teplice, který se předává žadateli. Protokol obsahuje závěry zjišťování a podmínky platnosti certifikátu.

Certifikát má 1 přílohu (1 strana), která je nedílnou součástí certifikátu.

Platnost certifikátu do **30. června 2009**

Osoba odpovědná za správnost tohoto certifikátu:

Teplice, 16. června 2006




Ing. Karel Crhák
zástupce vedoucího certifikačního orgánu



Příloha k certifikátu č. 040 - 025 473

Podmínky platnosti a používání certifikátu:

1. Certifikát shody se musí používat pouze pro účely, pro které byl vydán.
2. Držitel certifikátu je povinen:
 - a) informovat certifikační orgán o všech změnách: modifikaci výrobků nebo výrobního procesu, materiálových změnách, změnách systému řízení výroby, které mají vliv na shodu certifikovaného výrobku;
 - b) oznamovat certifikačnímu orgánu změny ve vlastnictví, struktuře nebo vedení;
 - c) vést záznamy o všech stížnostech týkajících se neshody certifikovaného výrobku s požadavky příslušné normy;
 - d) přijmout vhodná opatření na odstranění neshody a přijatá opatření dokumentovat;
 - e) na požádání předložit certifikačnímu orgánu výše uvedené záznamy o stížnostech;
 - f) umožnit certifikačnímu orgánu provádět periodický dozor po dobu platnosti certifikátu.
3. Certifikační orgán provádí opakované hodnocení výrobku v případě, že dojde ke změně technických specifikací.
4. Platnost tohoto certifikátu je podmíněna kladným vyhodnocením výsledků dozorů obsažených ve zprávách certifikačního orgánu a předaných držiteli certifikátu.

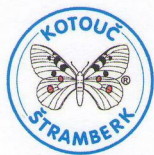
Tato příloha je nedílnou součástí certifikátu č.040 – 025 473.

Teplice, 16. června 2006



Ing. Karel Chrák
zástupce vedoucího certifikačního orgánu

Příloha 9



Prohlášení o vlastnostech č. 1020-CPD-070037230

- 1) Jedinečný identifikační kód typu výrobku :
Mletá granulovaná vysokopecní struska ve shodě s ČSN EN 15167-1
- 2) Typ, šarže nebo sériové číslo nebo jiné označení umožňující identifikaci stavebního výrobku podle článku 11, odstavec 4 :
SMŠ 400
- 3) Zamýšlené použití nebo zamýšlená použití stavebního výrobku v souladu s příslušnou harmonizovanou technickou specifikací podle předpokladu výrobce:

Příměs typu II do výrobků z betonu, včetně betonu vyráběného na staveništi nebo prefabrikovaných betonových dílců podle EN 206-1. Mletá granulovaná vysokopecní struska může být také použita do malt a injektážních malt. K použití jako hlavní složka a složky pro výrobu cementů CEM dle ČSN EN 197 – 1; ČSN EN 197 – 4 ; ČSN EN 14216.
Podle § 13 zákona 22/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů, splňuje základní požadavky a je za podmínek výše uvedeného použití bezpečný.
- 4) Jméno, registrovaný obchodní název nebo registrovaná obchodní známka a kontaktní adresa výrobce podle článku 11, odstavec 5:

KOTOUČ ŠTRAMBERK, spol. s r. o., Libotín 500,
742 66 Štramberk
- 5) Případně název a kontaktní adresa zodpovědné osoby, která je tímto pověřena podle článku 12, odstavec 2

Není relevantní pro výrobce podle článku 12
- 6) Systém nebo systémy posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebních výrobků:

Systém 1+
- 7) Oznámený subjekt

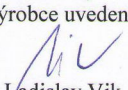
“Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., Prosecká 811/76a, Praha 9, NB 1020 provedl počáteční zkoušku typu výrobku podle systému 1+ a vydal ES Certifikát shody 1020-CPD-070037230.“
- 8) Vlastnosti uvedené v prohlášení

Základní charakteristiky	Vlastnosti	Harmonizovaná technická specifikace
Pevnost v tlaku po 7 dnech (Index účinnosti)	$\geq 45 \%$	EN 15167-1
Pevnost v tlaku po 28 dnech (Index účinnosti)	$\geq 70 \%$	
Počátek tuhnutí	$t < t_{\text{cementu}} \times 2$	
Jemnost	$\geq 400 \text{ m}^2/\text{kg}$	
Obsah oxidu hořečnatého	$\leq 18,0 \%$	
Obsah sulfidů	$\leq 2,0 \%$	
Obsah síranů	$\leq 2,5 \%$	
Ztráta žíháním	$\leq 3,0 \%$	
Obsah chloridů	$\leq 0,1 \%$	
Obsah vlhkosti	$\leq 1,0 \%$	
Trvanlivost	viz tabulka ZA.1 EN 15167-1	

Uvolňování nebezpečných látek a radioaktivní záření	Vyhláška č. 499/2005 Sb. v platném znění	
---	--	--

- 9) Vlastnosti výrobku uvedeného v bodě 1 a 2 jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v bodě 8. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4. Jménem výrobce:

Ve Štamberku dne 1. 1. 2014


Ing. Ladislav Vik
ředitel společnosti